



Universidades Lusíada

Salgado, Luís Miguel Martins

Estudo do sistema logístico de armazenamento e distribuição de uma empresa que comercializa artigos para canalizações e aquecimento

<http://hdl.handle.net/11067/7637>

Metadados

Data de Publicação

2023

Resumo

A competitividade crescente entre as empresas tem obrigado as organizações a diferenciarem-se das restantes de forma a sobreviver num mercado cada vez mais exigente. A Logística tem-se afirmado como um dos fatores fundamentais de diferenciação, quer seja pelo armazenamento e distribuição de produtos, pelo serviço ao cliente ou pela gestão de processos. Esta dissertação tem como objetivo apresentar o impacto que certas melhorias na Logística, tais como a implementação de instruções de trabalho, a...

The growing competitiveness between companies has forced organizations to differentiate themselves from the rest in order to survive in an increasingly crowded market. Logistics has established itself as one of the key differentiating factors, whether through the storage and distribution of products, customer service or process management. This dissertation therefore aims to present the impact that certain improvements in Logistics, such as the implementation of work instructions, the labeling ...

Palavras Chave

Gestão industrial, Logística

Tipo

masterThesis

Revisão de Pares

no

Coleções

[ULF-FET] Dissertações

Esta página foi gerada automaticamente em 2024-10-15T19:17:44Z com informação proveniente do Repositório



UNIVERSIDADE LUSÍADA
VILA NOVA DE FAMALICÃO

**ESTUDO DO SISTEMA LOGÍSTICO DE
ARMAZENAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DE UMA
EMPRESA QUE COMERCIALIZA ARTIGOS PARA
CANALIZAÇÕES E AQUECIMENTO**

Luís Miguel Martins Salgado

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Vila Nova de Famalicão – setembro de 2023



UNIVERSIDADE LUSÍADA
VILA NOVA DE FAMALICÃO

**ESTUDO DO SISTEMA LOGÍSTICO DE
ARMAZENAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DE UMA
EMPRESA QUE COMERCIALIZA ARTIGOS PARA
CANALIZAÇÕES E AQUECIMENTO**

Luís Miguel Martins Salgado

Orientador: Professora Doutora Bruna Ramos

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer à orientadora da Dissertação, a Professora Doutora Bruna Ramos pelo apoio incansável prestado durante todas as fases do trabalho.

Agradeço também aos meus pais, Joaquim Salgado e Maria Martins, por me darem a possibilidade de tirar um curso superior bem como pelo carinho, educação e valores que me transmitiram, tornando-me o homem que sou hoje.

Importa agradecer a todos os meus colegas, funcionários e professores da Universidade Lusíada de Vila Nova de Famalicão.

A todos os funcionários da Inoxtubo, S.A. que estiveram sempre dispostos a ajudar e a fornecer todas as informações pedidas, mesmo quando implicava trabalhos adicionais, deixo o meu agradecimento especial.

Resumo

A competitividade crescente entre as empresas tem obrigado as organizações a diferenciarem-se das restantes de forma a sobreviver num mercado cada vez mais exigente. A Logística tem-se afirmado como um dos fatores fundamentais de diferenciação, quer seja pelo armazenamento e distribuição de produtos, pelo serviço ao cliente ou pela gestão de processos. Esta dissertação tem como objetivo apresentar o impacto que certas melhorias na Logística, tais como a implementação de instruções de trabalho, a etiquetagem de produtos, a definição de áreas específicas e o aperfeiçoamento e estudo do problema de encaminhamento dos veículos pode ter nos balanços da Inoxtubo, S.A., uma pequena e média empresa especializada na distribuição de produtos e equipamentos para a construção.

Para a realização deste estudo foi necessário reunir uma grande quantidade de informação para ser possível obter resultados concretos. A etiquetagem de produtos exigiu a cronometragem do tempo de atendimento ao cliente antes e após etiquetagem de forma a tornar possível o cálculo da sua mais-valia financeira. Para a implementação da instrução de trabalho foi necessário realizar um inquérito aos colaboradores para perceber o nível de satisfação dos mesmos. Por fim, grande parte do estudo incide no *Vehicle Routing Problem*, tendo sido recolhidas as cargas transportadas por um tipo de veículo específico da organização em 4 semanas distintas. Através do peso das cargas, da localização dos clientes e tempo disponível para distribuição foi possível implementar abordagens distintas para resolver o problema de distribuição e encaminhamento de veículos. Foi proposto um modelo matemático exato, utilizada uma biblioteca em Python (VRPy com abordagem heurística de Clarke e Wright e um modelo de Geração de Colunas), e ainda uma folha de cálculo proposta na literatura, o VRP Spreadsheet Solver. Desta forma foi possível criar um planeamento de distribuição e comparar os resultados obtidos através das diferentes abordagens. A priorização das rotas obtidas foi realizada através da análise ABC semanal das encomendas.

Assim sendo, através Etiquetagem de Produtos foi possível calcular uma poupança anual no valor de 468,67 €. Já através dos modelos de resolução do VRP, comparando com uma semana com as rotas realmente efetuadas pelo veículo da organização, pôde-se observar que o VRP Spreadsheet Solver apresentou uma solução associada a uma redução em termos de custo de 40,96€, uma redução no tempo total de trabalho de 2 horas e 54 minutos e uma redução em termos de distância de 178,11 quilómetros.

Palavras-chave: Logística, Instrução de Trabalho, VRP, Heurística de Clarke e Wright, VRP Spreadsheet Solver

Abstract

The growing competitiveness between companies has forced organizations to differentiate themselves from the rest in order to survive in an increasingly crowded market. Logistics has established itself as one of the key differentiating factors, whether through the storage and distribution of products, customer service or process management.

This dissertation therefore aims to present the impact that certain improvements in Logistics, such as the implementation of work instructions, the labeling of products, the definition of specific areas and the improvement and study of vehicle routing can have on Inoxtubo, S.A.'s balance sheets, a small and medium-sized company specializing in the distribution of products and equipment for construction.

For this study, it was necessary to gather a lot of information to obtain concrete and tangible results. Product labeling required timing of customer service time before labeling and after labeling in order to make possible a comparison and subsequent calculation of financial added value. For the implementation of a work instruction, it was necessary to carry out a survey of employees to understand their level of satisfaction. Finally, a large part of the study focuses on the Vehicle Routing Problem, having collected the loads carried by a specific vehicle of the organization in 4 different weeks. Through the weight of the loads, the location of the clients and other imposed constraints, it was possible to implement distinct approaches to solve the vehicle distribution and routing problem. An exact mathematical model was proposed, using a Python library (VRPy with Clarke and Wright's heuristic approach and a Column Generation model), as well as a spreadsheet proposed in the literature, the VRP Spreadsheet Solver. In this way, it was possible to create distribution planning and compare the results obtained through the different approaches. The prioritization of the routes obtained was carried out through weekly ABC analysis of orders.

Therefore, through Product Labeling it was possible to calculate an annual saving of €468.67. Using the VRP resolution models, comparing a week with the routes actually taken by the organization's vehicle, we were able to observe that the VRP Spreadsheet Solver presented a solution associated to a reduction in cost of €40.96, a reduction in total working time of 2 hours and 54 minutes and a reduction in terms of distance of 178.11 kilometers.

Keywords: Logistics, Work Instruction, VRP, VRPy, Clarke e Wright Heuristic, VRP Spreadsheet Solver

Índice

| | |
|--|------|
| Agradecimentos | i |
| Resumo | iii |
| Abstract..... | v |
| Lista de Figuras..... | ix |
| Lista de Tabelas | xiii |
| Lista de Siglas e Acrónimos | xv |
| 1. Introdução | 1 |
| 1.1. Enquadramento do projeto..... | 1 |
| 1.2. Objetivos..... | 2 |
| 1.3. Metodologia de trabalho | 3 |
| 1.4. Estrutura do relatório | 3 |
| 2. Enquadramento teórico | 5 |
| 2.1. Conceito da Logística | 5 |
| 2.1.1. Evolução da Logística | 7 |
| 2.1.2. Da Logística à Gestão da Cadeia de Abastecimento..... | 10 |
| 2.1.3. Logística Interna versus Logística Externa | 14 |
| 2.1.4. Logística e vantagem competitiva..... | 15 |
| 2.2. Melhoria Contínua e Ferramentas | 20 |
| 2.2.1. 5S..... | 20 |
| 2.2.2. Análise ABC | 22 |
| 2.3. Problema de distribuição e encaminhamento de veículos | 25 |
| 2.3.1. Variantes do <i>Vehicle Routing Problem</i> | 26 |
| 2.3.2. Métodos de Resolução <i>Vehicle Routing Problem</i> | 28 |
| 2.3.3. Ferramentas para resolução do VRP | 35 |
| 3. Descrição e análise crítica da situação atual | 43 |
| 3.1. Apresentação da organização | 43 |

| | |
|---|-----|
| 3.2. Principais produtos comercializados | 44 |
| 3.3. Infraestruturas e processos..... | 50 |
| 3.3.1. Armazém Principal (A) | 50 |
| 3.3.2. Edifício do escritório, armazém e atendimento ao público (B)..... | 53 |
| 3.3.3. Estaleiros (C e D) | 55 |
| 3.4. Caracterização da Frota | 56 |
| 3.5. Análise da procura | 57 |
| 4. Apresentação e análise das propostas de melhoria em armazém e para o planeamento da distribuição | 63 |
| 4.1. Processo de expedição de mercadorias..... | 63 |
| 4.2. Etiquetagem dos produtos e definição de espaços de carga | 66 |
| 4.3. Definição do problema de distribuição..... | 71 |
| 4.3.1. Tipo de Veículo..... | 72 |
| 4.3.2. Tipo de Caixas..... | 73 |
| 4.3.3. Tipos de Tubo..... | 73 |
| 4.3.4. Distâncias entre clientes | 74 |
| 4.4. Abordagens para resolução do problema de distribuição | 74 |
| 4.4.1. Abordagem exata..... | 75 |
| 4.4.2. Aplicação da biblioteca VRPy e do VRP Spreadsheet Solver | 78 |
| 4.5. Priorização de rotas..... | 97 |
| 4.6. Comparação resultados | 101 |
| 5. Conclusões e trabalho futuro..... | 109 |
| Referências | 111 |
| Apêndice A | 115 |
| Apêndice B | 119 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Evolução da Logística..... | 9 |
| Figura 2 - Diferentes abordagens da Logística e da Gestão da Cadeia de Abastecimento | 10 |
| Figura 3 - Evolução dos conceitos de logística e SCM | 13 |
| Figura 4 - As 5 forças competitivas de Porter | 16 |
| Figura 5 - Curva ABC..... | 24 |
| Figura 6 - Solução de um VRP clássico | 26 |
| Figura 7 - Métodos de Otimização VRP..... | 29 |
| Figura 8 - Estrutura das folhas de cálculo do VRP Spreadsheet Solver | 41 |
| Figura 9 – Logotipo Inoxtubo, S.A..... | 44 |
| Figura 10 - Produtos comercializados pela Inoxtubo, S.A. | 45 |
| Figura 11 - Sistema compacto de Termossifão..... | 46 |
| Figura 12 - Sistema de Circulação Forçada | 47 |
| Figura 13 - Tipos de Tubagens | 48 |
| Figura 14 - Acessórios PP-R e de Redes de Incêndio | 49 |
| Figura 15 - Infraestruturas Inoxtubo, S.A..... | 50 |
| Figura 16 - Armazém Principal (A)..... | 51 |
| Figura 17 - Receção de Mercadorias | 51 |
| Figura 18 - Expedição de Mercadorias | 52 |
| Figura 19 - Edifício B | 54 |
| Figura 20 - Estaleiros | 55 |
| Figura 21 - Frota Inoxtubo, S.A..... | 56 |
| Figura 22 - Procura Semana 1 | 58 |
| Figura 23 - Análise ABC Semana 1 | 59 |
| Figura 24 - Procura Semana 2 | 59 |
| Figura 25 - Análise ABC Semana 2 | 60 |
| Figura 26 - Procura Semana 3 | 60 |
| Figura 27 - Análise ABC Semana 3 | 61 |
| Figura 28 - Procura Semana 4 | 61 |
| Figura 29 - Análise ABC Semana 4 | 62 |
| Figura 30 - Instrução de trabalho..... | 64 |
| Figura 31 - Inquérito aos colaboradores | 65 |

| | |
|--|-----|
| Figura 32 - Etiquetagem dos Produtos..... | 67 |
| Figura 33 - Definição de espaços de carga | 69 |
| Figura 34 - Veículo utilizado no problema de distribuição | 72 |
| Figura 35 - Caixas utilizadas no problema de distribuição..... | 73 |
| Figura 36 - Execução do modelo exato no LPSolve..... | 77 |
| Figura 37 - Resultado VRPy Semana 1 | 79 |
| Figura 38 - Resultado VRPy em 60 segundos Semana 1 | 79 |
| Figura 39 - Heurística Clarke e Wright VRPy Semana 1 | 80 |
| Figura 40 - VRP Spreadsheet Solver Semana 1 | 81 |
| Figura 41 - Representação da melhor rota encontrada | 82 |
| Figura 42 - Resultado VRPy Semana 2 | 83 |
| Figura 43 - Resultado VRPy 60 segundos Semana 2 | 84 |
| Figura 44 - Heurística Clarke e Wright VRPy Semana 2..... | 85 |
| Figura 45 - VRP Spreadsheet Solver Semana 2 | 87 |
| Figura 46 - Representação da melhor rota encontrada | 88 |
| Figura 47 - VRP Spreadsheet Solver Semana 3 | 89 |
| Figura 48 - Resultado VRPy Semana 3 | 90 |
| Figura 49 - Resultado VRPy 60 segundos Semana 3 | 90 |
| Figura 50 - Representação da melhor rota encontrada | 91 |
| Figura 51 - Heurística Clarke e Wright VRPy Semana 3..... | 92 |
| Figura 52 - Resultado VRPy Semana 4 | 93 |
| Figura 53 – Heurística Clarke e Wright VRPy Semana 4 | 94 |
| Figura 54 - Semana 4 VRP Spreadsheet Solver | 95 |
| Figura 55 – Representação da melhor rota encontrada..... | 96 |
| Figura 56 – Representação da melhor rota encontrada na realidade | 97 |
| Figura 57 - Comparação Custo Semana 1 | 101 |
| Figura 58 - Comparação Distância Semana 1..... | 102 |
| Figura 59 - Comparação Tempo Semana 1 | 102 |
| Figura 60 - Comparação Custo Semana 2 | 103 |
| Figura 61 - Comparação Distância Semana 2..... | 103 |
| Figura 62 - Comparação Tempo Semana 2 | 104 |
| Figura 63 - Comparação Custo Semana 3 | 104 |
| Figura 64 - Comparação Distância Semana 3..... | 105 |
| Figura 65 - Comparação Tempo Semana 3 | 105 |

| | |
|--|-----|
| Figura 66 - Comparação Custo Semana 4 | 106 |
| Figura 67 - Comparação Distância Semana 4..... | 107 |
| Figura 68 - Comparação Tempo Semana 4 | 107 |
| Figura 69 - Código LPSolve do modelo ACVRP..... | 117 |
| Figura 70 - Excerto exemplo de código VRPy para a semana 3 | 119 |

Lista de Tabelas

| | |
|---|-----|
| Tabela 1- Definições de Logística segundo CLM. Adaptado de Serio et al. (2007). | 6 |
| Tabela 2 - Meios de Transporte e respectivas características..... | 19 |
| Tabela 3 - Temporização da Receção de Mercadorias | 52 |
| Tabela 4 - Temporização da Expedição de Mercadorias | 53 |
| Tabela 5 - Temporização Atendimento ao Público | 54 |
| Tabela 6 - Temporização de carga e descarga no estaleiro..... | 55 |
| Tabela 7 - Cálculo preço médio por quilómetro | 57 |
| Tabela 8 - Comparação antes e pós-etiquetagem..... | 67 |
| Tabela 9 – Custo anual médio de pedidos de atendimento..... | 68 |
| Tabela 10 - Temporização de carga dos tubos..... | 74 |
| Tabela 11 - Priorização de rotas | 100 |

Lista de Siglas e Acrónimos

ACO - Ant Colony Algorithm

ALNS - Adaptive Large Neighborhood Search

APLOG - Associação Portuguesa de Logística

AQS – Águas Quentes Sanitárias

AVRP - Assymmetric cost matrix VRP

CLM - Council of Logistics Management

CSCMP - Council of Supply Chain Management Professionals

DCVRP - Distance-Constrained VRP

FSMVRP - Fleet Size and Mix VRP

GA - Genetic Algorithm

GCA - Gestão da Cadeia de Abastecimento

GIS - Geographic Information System

GRASP - Greedy Randomised Adaptive Search Procedure

GVRP - Green VRP

HVRPM - HVRP with multiple use of vehicles

LIFO – Last In First Out

LNS - Large Neighbourhood Search

MDVRP - Multiple Depots VRP

OVRP - Open VRP

PDVRP - Pickup-and-delivery VRP

PVRP - Periodic delivery VRP

SA - Simulated Annealing

SCM - Supply Chain Management

SVRP - Site-Dependent VRP

SDVRP - Split-delivery VRP

TIC - Tecnologias de Informação e Comunicação

TS - Tabu Search

VBA - Visual Basic for Applications

VNS - Variable Neighbourhood Search

VRP – Vehicle Routing Problem

VRPB - VRP with Backhauls

VRPTW - VRP with Time Windows

1. Introdução

Neste capítulo será apresentado o enquadramento teórico, objetivos, metodologia de investigação e estrutura do projeto.

1.1. Enquadramento do projeto

As organizações enfrentam diariamente inúmeros desafios que as obrigam a adotar métodos que permitam antecipar falhas e contrariedades e a procurarem melhorar constantemente o seu desempenho. É um facto que os mercados atuais sofreram de uma globalização extremamente rápida que aumentou significativamente os níveis de competitividade, exigindo da parte das organizações uma maior rapidez e flexibilidade para se diferenciarem.

As empresas em que a logística é eficaz estão muito mais perto do sucesso, quer seja pela redução de custos, de tempos de reposta ou pela satisfação do cliente. Assim, importa adotar um planeamento logístico adequado para prosperar num mercado dinâmico e sobrelotado. A Logística pode ser definida como um conjunto de atividades de movimentação e armazenagem imprescindíveis para garantir o fluxo de produtos e informações entre os elementos da cadeia de abastecimento.

O transporte pode ser considerado o processo mais importante e mais dispendioso de todas as atividades logísticas desempenhadas numa organização, sendo por isto fundamental que as empresas adotem estratégias que possibilitem a satisfação de todos os clientes com o menor custo possível. Esta estratégia deverá ter como principal objetivo a organização de cargas e de rotas de modo que sejam percorridos o menor número de quilómetros possíveis e que seja utilizada a capacidade máxima dos veículos em termos de carga (peso e dimensão). Existem inúmeros modelos de resolução deste tipo de problema, tanto métodos exatos como métodos aproximados, todos com diferentes variáveis e restrições, possíveis de se adaptar às diferentes variantes do problema.

O Problema de Distribuição e Encaminhamento de Veículos, normalmente conhecido por *Vehicle Routing Problem* (VRP) consiste em determinar o melhor conjunto de rotas a serem percorridas por um conjunto de veículos, de características semelhantes ou não, que partem de um depósito central com o objetivo de satisfazer a procura de uma série de clientes.

Ao longo deste projeto serão estudados vários modelos de resolução do VRP e selecionados os que melhor se adaptem a uma situação real, neste caso de uma empresa distribuidora de produtos e equipamentos para a construção, implementando-os e analisando os resultados obtidos.

1.2. Objetivos

O principal objetivo desta dissertação passa pela otimização das atividades Logísticas de uma empresa distribuidora de produtos e equipamentos para a construção, com especial incidência na otimização das rotas de distribuição.

Numa primeira fase o objetivo do projeto consiste em analisar as melhorias possíveis em áreas da Logística com menor impacto do que sistema de distribuição propriamente dito (transporte), neste caso o atendimento ao cliente, os métodos de trabalho e ainda a área operacional. No atendimento ao cliente, a meta consiste em reduzir em 15% o tempo de atendimento através da etiquetagem dos produtos do armazém. Após a implementação dos processos de melhoria definidos para este ponto, será contabilizada a mais-valia financeira do processo, tendo em conta a comparação de resultados de cronometragem do antes e pós alterações. Quanto aos métodos de trabalho, serão implementadas instruções de trabalho, sendo realizar um inquérito aos funcionários para analisar o nível de satisfação dos mesmos com a implementação da melhoria. O objetivo quanto à área operacional, mais especificamente a área de armazenamento de material a ser expedido no dia em questão passa por atribuir a cada veículo uma área específica para fazer esta gestão.

Contudo, é sobre a área de transportes que recai a maior atenção e foco. Nesta atividade, o principal objetivo é a definição de um planeamento formal da distribuição que passa, numa primeira fase, pela análise de vários modelos de resolução do VRP e também do processo completo de definição de rotas por parte da organização. Através da análise das cargas transportadas por determinado veículo, serão implementados alguns modelos e comparados, percebendo qual resultará na melhor solução, associada à menor distância percorrida e conseqüentemente ao menor custo.

1.3. Metodologia de trabalho

A dissertação será desenvolvida com base na metodologia investigação-ação (*Action Research*). Esta metodologia é definida por Maestrini V. et al. (2016) como um processo de investigação emergente que integra teoria e ação para associar o conhecimento científico com o conhecimento organizacional existente e para abordar problemas organizacionais reais junto às pessoas do sistema sob investigação. De forma a perceber melhor esta metodologia importa definir os termos *action* e *research* separadamente. *Action* é normalmente associada à identificação e desenvolvimento de um tema, questão ou dilema e consiste em pôr em prática mudanças deliberadas ou intervenções de forma a melhorar, modificar ou desenvolver a situação. *Research* envolve uma abordagem sistemática de recolha de informação ou dados, normalmente utilizando métodos associados à procura qualitativa.

Assim sendo, será realizada uma revisão da literatura com recurso a diversas plataformas de pesquisa. Esta investigação estará relacionada com os conceitos de Logística, pensamento *Lean* e processos de melhoria contínua. A investigação será ainda suportada por um estudo de caso realizado em empresa, onde serão propostas melhorias no Logística de armazenamento e distribuição de produtos e posteriormente analisadas as possíveis melhorias.

1.4. Estrutura do relatório

A presente dissertação é composta por 6 capítulos e está organizada de forma progressiva em termos de conteúdo necessários para alcançar os objetivos propostos.

No capítulo um é realizado um breve enquadramento teórico sobre o tema da dissertação, são apresentados objetivos da dissertação e é definida e explicada a metodologia de investigação utilizada.

O capítulo dois apresenta uma revisão de literatura sobre a Logística, a Melhoria Contínua e o VRP. Na primeira secção (2.1) é definido o conceito de Logística e são apresentadas várias definições de diferentes autores. Ainda neste ponto é abordada a evolução da Logística, a passagem da Logística à cadeia de abastecimento, comparadas a Logística Interna e a Logística Externa e a vantagem competitiva que a Logística poderá fornecer. Na segunda secção (2.2) é abordada a Melhoria Contínua e são definidas algumas das suas ferramentas tais como os 5S e a Análise ABC. Na secção 2.3, são abordadas as

variantes do VRP, os métodos de resolução do VRP (tanto exatos como heurísticos) e são ainda apresentadas as várias ferramentas de resolução do VRP.

O capítulo três começa por uma apresentação da organização sobre a qual incidirá o caso de estudo e apresentados todos os produtos comercializados pela mesma. De seguida é apresentada a situação atual da organização, analisando-se todos os dados relevantes e necessários para análise e implementação do VRP. Ainda neste capítulo é realizada uma análise ABC dos clientes da organização segundo o critério de volume de vendas.

No capítulo quatro são abordadas as soluções para os problemas da organização, quer em termos de organização dos armazéns, quer em termos do processo de expedição de mercadorias, ou seja, a etiquetagem dos produtos e a instrução de trabalho, respetivamente. Ainda neste capítulo é definido o problema de distribuição e encaminhamento de veículos de forma detalhada e são analisados todos os resultados das ferramentas e dos modelos utilizados para resolução do problema que permitem a criação de um planeamento formal de distribuição.

Por último, no capítulo cinco, a dissertação é finalizada com as conclusões resultantes deste trabalho de investigação e são ainda citadas algumas recomendações que poderão ser úteis para investigações futuras.

2. Enquadramento teórico

Neste capítulo será realizado o enquadramento teórico do projeto, onde serão explorados conceitos relacionados com a Logística, melhoria contínua e ferramentas *Lean* e abordagens à resolução do problema VRP e das suas variantes.

2.1. Conceito da Logística

A palavra Logística, segundo Uelze (1974), tem origem no verbo francês “Loger” que significa acomodar, adaptar ou receber. No entanto, a origem da palavra varia entre as opiniões dos autores, segundo Machado (2022) a Logística tem origem no grego “Logistikos”, que em latim se viria a escrever “Logisticus”. No século XVIII, o Barão Antoine Henri de Jomini, General do Exército francês sob o comando de Napoleão Bonaparte, tentou pela primeira vez criar um conceito de Logística na sua famosa obra “Arte da Guerra”, descrevendo-a como a arte prática de movimentar exércitos. Antoine defendia que o termo Logística deriva de um posto militar francês do século XVII, o Maréchal des Logis.

Surgiram ao longo dos anos inúmeras definições de Logística, para Magee (1977) é “a arte de administrar o fluxo de materiais e produtos, da fonte ao consumidor. O sistema logístico inclui o fluxo total de materiais, desde a aquisição da matéria-prima até à entrega dos produtos acabados aos consumidores finais, apesar de, tradicionalmente, as empresas isoladas controlarem, diretamente, somente uma parte do sistema total de distribuição física do seu produto.”

Já a *Association Française des Logisticiens d’Entreprises* define logística como um “conjunto de atividades que tem por fim a colocação, com um custo mínimo, de uma quantidade de produto no local e no momento em que existe procura. A logística abarca, pois, todas as operações que condicionam o movimento dos produtos, tais como: localização das fábricas e entrepostos, abastecimentos, gestão física de produtos em curso de fabrico, embalagem, formação e gestão de *stock*, manutenção e preparação das encomendas, transportes e circuitos de entregas.” (Tixier et al., 1986).

Para R. Ballou (2001), a Logística “trata de todas as atividades de movimentação e armazenagem, que facilitam o fluxo de produtos desde o ponto de aquisição da matéria-prima até ao ponto de consumo final, assim como dos fluxos de informação que colocam os

produtos em movimento, com o propósito de providenciar níveis de serviço adequados aos clientes a um custo razoável.”

Já J. Carvalho (2017), assume logística como “o processo estratégico de planeamento, implementação e controlo dos fluxos de materiais, serviços e informação relacionada, desde o ponto de origem ao ponto de consumo, de acordo com as necessidades dos elementos a serem servidos pelo sistema logístico em causa.”

Sequeira (1999) teve um papel fundamental na Logística em Portugal, sendo o primeiro presidente da Associação Portuguesa de Logística (APLOG) e dividiu a Logística em três áreas: Micrologística, Mesologística e Macrologística.

Quando se fala da Logística ao nível organizacional refere-se à Micrologística, quer seja numa escola, empresa, hospital, entre outros. A Mesologística está associada a um nível intermédio entre a macro e a micro, ou seja, foca-se nas questões locais tais como áreas metropolitanas, concelhos ou regiões. A Macrologística aborda regiões com uma área de intervenção mais alargada, principalmente países ou, por exemplo, a União Europeia.

O *Council of Logistics Management* (CLM), criado em 1985, é a organização de maior renome no que diz respeito à logística, reconhecida por grande parte dos profissionais da área. Desde a sua criação até à atualidade, a organização já alterou por cinco vezes a definição de logística como se pode verificar na Tabela 1.

Tabela 1- Definições de Logística segundo CLM. Adaptado de Serio et al. (2007)

| | |
|------|---|
| 1985 | A Logística é o processo de planeamento, implementação e controlo da eficiência e eficácia dos custos, fluxos e armazenamento de matérias-primas, produtos em curso e acabados e informação relacionada, desde o ponto de origem até ao ponto de consumo, em conformidade com os requisitos dos clientes. |
| 1992 | A Logística é o processo de planeamento, implementação e controlo da eficiência e eficácia dos fluxos e armazenamento de produtos, serviços e informação relacionada, desde o ponto de origem até ao ponto de consumo, em conformidade com os requisitos dos clientes- |
| 1998 | A Logística é a parte do processo da Cadeia de Abastecimento que planeia, implementa e controla o eficiente fluxo e armazenagem de produtos, serviços e informação relacionada, desde o ponto de origem até ao ponto de consumo, em ordem a satisfazer os requisitos dos clientes. |
| 2002 | A Logística é a parte do processo da Cadeia de Abastecimento que planeia, implementa e controla o eficiente e eficaz fluxo direto e inverso, e a armazenagem de produtos, serviços e informação relacionada, desde o ponto de origem até ao ponto de consumo, em ordem a satisfazer os requisitos dos clientes. |
| 2003 | A Gestão Logística é a parte da Gestão da Cadeia de Abastecimento que planeia, implementa e controla o eficiente e eficaz fluxo direto e inverso, e o armazenamento de produtos, serviços e informação relacionada, desde o ponto de origem até ao ponto de consumo, em ordem a satisfazer os requisitos dos clientes |

2.1.1. Evolução da Logística

A Logística surgiu aquando das civilizações, numa primeira fase associada à construção de pirâmides e muralhas, construção esta que ainda deixa dúvidas sobre como os materiais seriam transportados (Dalongaro & Baggio, 2020). Principalmente nos tempos de guerra em que era exigida uma organização muito complexa por parte dos comandantes, tendo em conta a extensa duração e complexidade das mesmas, todo o planeamento, organização e execução de tarefas necessárias para o transporte das tropas, armamentos, mantimentos e carros de guerra era definitivamente considerado logística, ainda que inconscientemente (Santos et al., 2009). R. Ballou (2001) afirma que a Logística começou por ser denominada por distribuição física e definida como a coordenação de mais do que uma atividade associada ao fornecimento físico de produtos ao mercado. Shaw (1912) começou a olhar para o marketing de duas formas diferentes, onde uma se relaciona com a promoção do produto e a outra se preocupa com o fornecimento físico. Já Clark & Black (1923) afirma que a distribuição passa a ser a atividade principal do marketing-mix (conjunto de variáveis que poderão ter influência nas escolhas dos consumidores e em toda a sua atividade no mercado tais como os 4P's: *Product, Price, Place e Promotion*), contudo mais focada nos canais de transação e não na distribuição física em si. Converse (1954), viria a confirmar a ideia, afirmando que as empresas prestavam muito mais atenção à compra e venda do que à distribuição física. Em retrospectiva, um estudo que desempenhou um papel fundamental na Logística foi o de Lewis (1957). Este estudo sobre as companhias aéreas levantava a questão de como estas poderiam competir no mercado com preços tão elevados. Foi possível concluir que é necessário ter uma perspetiva de custo total e não apenas de um transporte único, ou seja, embora o custo do transporte aéreo possa ser mais caro, o serviço é mais rápido, mais seguro e pode levar a menores custos de manutenção de *stock*, tanto no ponto de partida como de chegada.

Em 1960 aparece o primeiro curso universitário (Michigan State University) e o primeiro livro didático (Smykay), focado no custo total e atividades como o transporte, controlo de inventários, armazenagem e localização das instalações. Em 1964, aparece o termo logística empresarial através de Heskett et al. (1973), não só para a distinguir da logística militar, mas para se concentrar apenas nas atividades logísticas que ocorrem dentro de uma organização. O estudo da logística intensificou-se nas décadas de 60 e 70, tendo vários autores retirado conclusões sobre a percentagem das vendas que a distribuição representava:

- Nos Estados Unidos, 15% (Heskett et al., 1964)
- No Reino Unido, 16% (Murphy, 1972)
- No Japão, 26,5% (Kobayashi, 1973)
- Na Austrália, 14,1% (Stephenson, 1975)
- Na China, 24% (Wang, 2006)

Ainda antes destes estudos, Drucker (1962) afirmava que a logística era uma das áreas mais negligenciadas e mais promissoras do mundo dos negócios. Vieira & Rodriguez (2011) procuraram resumir e denominar as fases de desenvolvimento da Logística, apontando 6 fases:

Do produtor ao mercado: período prévio às guerras mundiais onde o foco da Logística era apenas o transporte e a armazenagem.

Funções segmentadas: até fins da década de 1950. Começam a aparecer algumas atividades logísticas, mas sem grande relevância dentro da organização. Ainda nesta fase começa-se a sentir a grande influência militar.

Funções integradas: durante a década de 1960. O conceito de custo total começa a ganhar importância e as atividades logísticas começam a ser integradas ainda que de uma forma interna.

Foco no consumidor: nos anos 70, o marketing começa a ser muito influente levando a que a ideia de serviço ao consumidor passe a estar bem presente nas organizações.

Logística como fator de diferenciação: nos anos 80, a Logística toma finalmente a devida importância e é distinguida pelas organizações como fator de diferenciação.

Expansão de fronteiras: desde a década de 90 até à atualidade. Nesta fase o foco incide na percepção do cliente e de todo o seu comportamento. Surgem assim a logística internacional, as atividades multifuncionais e as redes logísticas.

Já segundo Novaes (2004), a evolução da Logística poderá ser dividida em 4 fases (Figura 1):

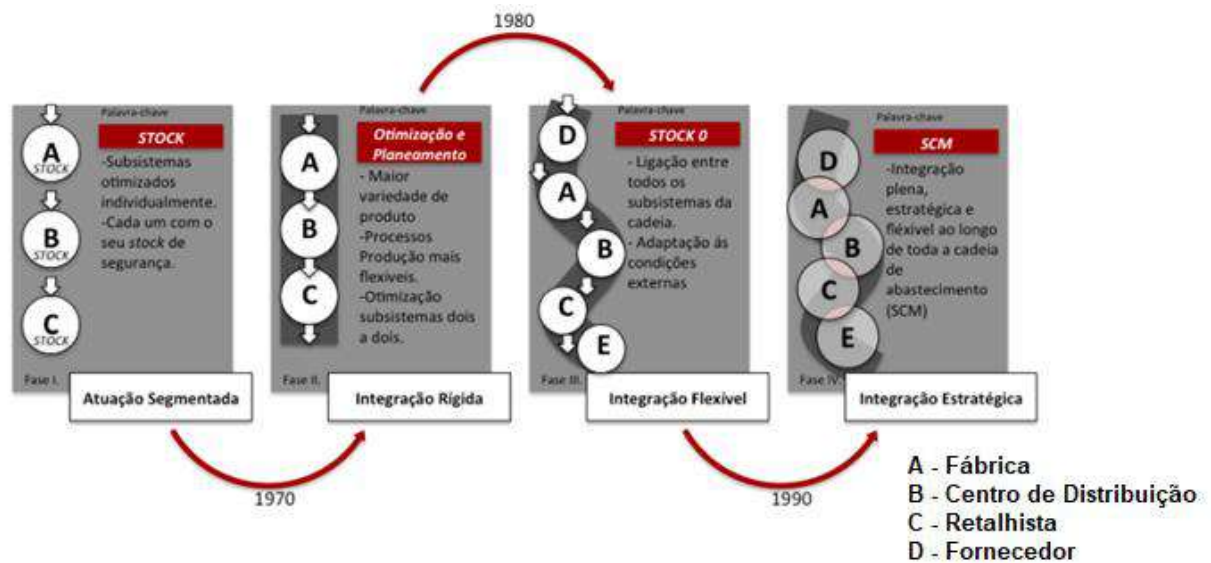


Figura 1 – Evolução da Logística. Adaptado de M. Sousa (2015)

Fase 1 – Atuação Segmentada:

Nesta fase, todos os intervenientes no abastecimento físico trabalhavam de forma independente. A quantidade de *stock* parado era muito elevada, levando a altos custos de abastecimento. A circulação de informação era escassa, levando a que os fornecedores pouco conhecessem os clientes e vice-versa.

Fase 2 – Integração Rígida:

Os fornecedores começam a importar-se mais com os clientes e procuram disponibilizar uma maior variedade de produtos. Com o aumento dos custos de transporte nesta fase, as organizações começam a preocupar-se não só com a produção, mas também com o processo de distribuição.

Fase 3 – Integração Flexível:

Surge aquando do desenvolvimento tecnológico, permitindo aos fornecedores uma grande troca de informações podendo desta forma reduzir o *stock*. Apesar deste desenvolvimento, a informação apenas circulava entre dois intervenientes, nunca alcançando toda a cadeia.

Fase 4 – Integração Estratégica:

A logística passa a ser vista como uma estratégia e não um custo. Surge o conceito de Gestão da Cadeia de Abastecimento, onde todos os intervenientes comunicam entre si e estão inteiramente informados. Nesta fase, todos os elementos cooperam entre si para criar o maior valor possível no produto entregue ao cliente e para reduzir os desperdícios, sejam estes de tempo ou dinheiro. Surge também nesta fase a subcontratação de alguns serviços.

2.1.2. Da Logística à Gestão da Cadeia de Abastecimento

R. Ballou (2001) refere que a Gestão da Cadeia de Abastecimento não é algo novo, mas sim apenas um novo termo para definir tudo o que a Logística envolve, tal como se pode verificar nas definições de muitos pioneiros da logística, por exemplo na de Heskett et al., (1964): “A Logística é qualquer transferência de bens de uma entidade para outra que requer a coordenação e abastecimento de diferentes instituições no canal, desde o produtor até ao consumidor final”. É perfeitamente perceptível nesta definição que o autor faz referência a toda a cadeia de abastecimento e a toda a coordenação necessária para o canal funcionar. De acordo com Lambert & Cooper (2000), a Logística e a gestão da Cadeia de abastecimento, bem como as suas diferentes abordagens ocorrem como demonstrado na Figura 2:

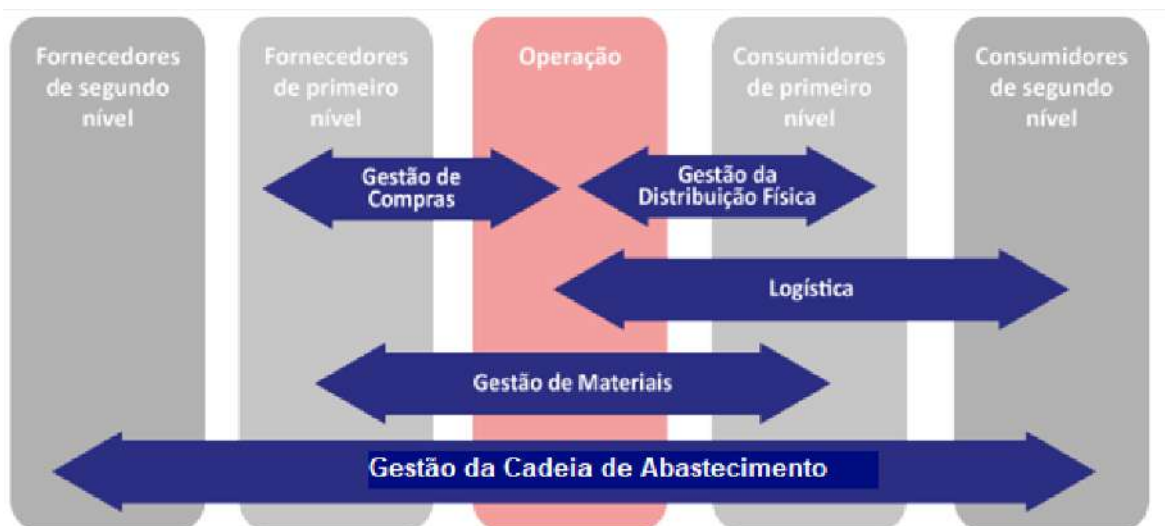


Figura 2 - Diferentes abordagens da Logística e da Gestão da Cadeia de Abastecimento. Adaptado de Lambert & Cooper (2000)

O CSCMP define a cadeia de abastecimento como o planeamento e gestão de todas as atividades envolvidas na procura e aquisição, conversão e todas as atividades de Gestão Logística. De forma importante, também inclui a coordenação e colaboração com os parceiros de canal que podem ser fornecedores, intermediários, terceiros prestadores de

serviços e clientes. Em suma, a Gestão da Cadeia de Abastecimento integra a gestão da oferta e da procura entre empresas. O CSCMP define ainda logística como a parte da Gestão da Cadeia de Abastecimento que planeia, implementa e controla o fluxo e armazenamento eficiente de bens, serviços e informação relacionada entre o ponto de origem e o ponto de consumo de forma a ir de encontro às exigências do consumidor. Através das duas definições previamente apresentadas, é possível observar que a Gestão da cadeia de Abastecimento e a Logística se distinguem pela sua abrangência. Com base numa colaboração entre vários líderes de indústria, Lamber et al. (1998) definiram oito subprocessos chave para a gestão da cadeia de abastecimento:

- 1 – Gestão da relação com o cliente
- 2 – Gestão de serviços do cliente
- 3 – Gestão da procura
- 4 – Preenchimento de encomendas
- 5 – Gestão do fluxo de produção
- 6 – Gestão das relações com o fornecedor
- 7 – Desenvolvimento do produto e comercialização
- 8 – Gestão de devoluções

Já Bertaglia (2016) assume e define 7 características associadas à cadeia de abastecimento:

- ♦ **Localização das organizações:** tem um papel fundamental quanto aos custos de transporte. Devem ser realizados novos estudos para considerar a localização dos clientes e fornecedores e as facilidades de transporte.
- ♦ **Distribuição física:** representa a movimentação dos produtos e dos materiais ao longo de toda a cadeia de abastecimento, desde os fornecedores até à organização, da organização aos centros de distribuição e daí para os clientes. Esta distribuição poderá parecer simples nos casos em que a receção, produção e expedição ocorrem todas no mesmo local, no entanto, existem casos mais complexos que exigem vários centros de produção e distribuição, bem como intermediários e operadores logísticos.
- ♦ **Armazenagem dos stocks:** requer uma atenção especial, uma vez que não são apenas os produtos acabados que necessitam de ser armazenados, matérias-primas

e produtos semiacabados também carecem desta necessidade. Uma perspectiva real sobre o *stock* existente e o *stock* necessário pode levar a uma redução do capital investido.

- ♦ **Modo de transporte:** depende sempre do tipo de material e quantidade a transportar e dos canais de transporte possíveis de se utilizar.
- ♦ **Fluxo de informação:** está diretamente ligado ao movimento de produtos e materiais. Toda a cadeia está interligada através do processamento de pedidos, estimativa de vendas, planeamento de produção, compras, armazenagem e manuseamento. Por este motivo, atualmente, a tecnologia de informação é fundamental para evitar quaisquer possíveis erros que levem a movimentações erradas.
- ♦ **Estimativas:** As estimativas são previsões fulcrais na cadeia de abastecimento para a tomada de decisões no momento exato. Deste modo, as organizações têm optado por investir em ferramentas inovadoras e tecnologicamente mais avançadas para obter a maior certeza possível nas estimativas, nunca descartando o facto de ser algo incerto.
- ♦ **Comunicação e relacionamento:** Os relacionamentos com os clientes, fornecedores, operadores logísticos, distribuidores, entre outros, envolvem fluxos de produtos, materiais e informações. Estes relacionamentos podem ser apontados como a principal vantagem competitiva que uma organização poderá obter quando se fala na cadeia de abastecimento. Uma boa relação com as partes interessadas traz inúmeras vantagens, tanto nas compras como nas vendas e até mesmo na publicidade.

De acordo com R. Ballou (2006), a evolução da logística para a cadeia de abastecimento poderá ser explicada através da Figura 3:

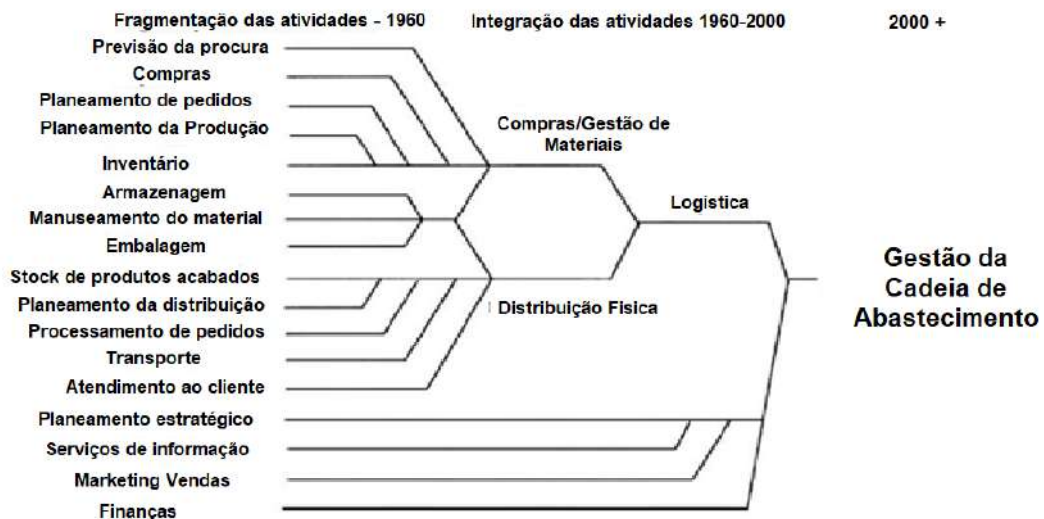


Figura 3 - Evolução dos conceitos de logística e SCM. Adaptado de R. H. Ballou (2006)

Ballou aponta ainda 6 diferenças significativas entre a Logística e a Gestão da Cadeia de Abastecimento (GCA):

Foco *intra-company*: foco direcionado apenas para dentro da empresa e na eficiência dos processos internos.

Integração entre elos: preocupação apenas com os consumidores e fornecedores de primeiro nível, esquecendo todos os outros.

Indicadores Logísticos: o foco no *intra-company* refletia-se nestes indicadores, tal como na rotação de *stock*, tempo de *stock*, entre outros.

Foco na operação: tal como referido, a logística foca-se na eficiência operacional da organização.

Tecnologia de Informação: meio de apoio na Logística. As ferramentas de tecnologia da informação são apenas um meio para obter a eficiência operacional.

Abordagem técnica: A Logística opera apenas a um nível técnico, com o objetivo da eficiência técnico-operacional.

A GCA caracteriza-se por:

Foco *intercompany*: o foco passa a ser com toda a cadeia de abastecimento, em que o todo passa a ser mais importante que a parte para alcançar os objetivos.

Perspetiva sistémica: todos os clientes e fornecedores passam a ser importantes, independentemente do nível.

Indicadores da cadeia: os indicadores deixam de ser focados apenas na organização e passam a focar-se na cadeia toda, pois de nada adianta ter bons indicadores se os clientes ou fornecedores não os tiverem.

Atenção à conceção: a operação deixa de ser o foco principal, passando este para toda a cadeia e todos os seus intervenientes, estabelecendo-se critérios para definir e manter as parcerias.

Relevância da TI: Na GCA, a TI é de todo importante para manter contacto com todos os agentes intervenientes.

Abordagem de negócios: A abordagem passa do nível técnico para o nível global, tomando os objetivos do negócio como um todo.

2.1.3. Logística Interna versus Logística Externa

Porter (1989) define a Logística Interna como todas as atividades que estejam de forma direta ou indireta associadas ao recebimento, armazenamento e distribuição de bens, tais como o manuseamento de material, a armazenagem, o controlo de *stock*, a programação de frotas, os veículos e as devoluções a fornecedores. Moura (1998) apresenta a logística interna com três características fundamentais:

- ♦ **Atendimento aos funcionários:** A logística interna tem a responsabilidade de disponibilizar os materiais necessários para os funcionários desempenharem as suas funções.

- ♦ **Otimização das tarefas:** Através da entrega na quantidade ideal será possível reduzir o tempo entre tarefas.
- ♦ **Interação dos demais setores da organização:** A interação entre todos os setores da organização permite a redução de erros e a padronização da disponibilização de recursos.

P. de Sousa (2012) afirma que a Logística externa se refere a toda a movimentação de mercadoria de uma organização para outra. Segundo Fleury et al. (2000), a logística externa é responsável por todas as funções da administração dos recursos materiais: armazenamento, distribuição, compras, transporte e informações entre empresas pertencentes ao canal de distribuição.

2.1.4. Logística e vantagem competitiva

Para Christopher (1999) os generais dos tempos de guerra já compreendiam bem o papel crítico da Logística, no entanto apenas num passado recente é que os gestores organizacionais se aperceberam da vantagem competitiva que uma boa gestão logística pode proporcionar. Das inúmeras mudanças que ocorreram no pensamento de gestão nos últimos tempos, a mais significativa terá sido a importância dada à procura de estratégias que proporcionassem valor ao produto na ótica do cliente. Uma grande contribuição para a procura destas estratégias deve-se a Porter que através das forças competitivas trouxe um novo conceito, “cadeia de valor”. Porter (1997) afirma que: “A vantagem competitiva não pode ser compreendida olhando-se para uma firma como um todo. Ela deriva das muitas atividades discretas que uma firma desempenha projetando, produzindo, comercializando, entregando e apoiando seu produto. Cada uma dessas atividades pode contribuir para a posição de custo relativo da firma e criar a base para a diferenciação. A cadeia de valor desdobra a firma nas suas atividades estrategicamente relevantes, para compreender o comportamento dos custos e as fontes de diferenciação existentes ou potenciais. Uma firma ganha vantagem competitiva executando estas atividades estrategicamente importantes de maneira mais barata ou melhor do que os seus concorrentes.”

Porter (1986) definiu as 5 forças competitivas que caracterizam a competitividade de um setor (Figura 4):

1. Rivalidade entre as empresas existentes;
2. Ameaça de novos participantes;
3. Poder de negociação dos compradores;
4. Ameaça de produtos ou serviços substitutos; e
5. Poder de negociação dos fornecedores.

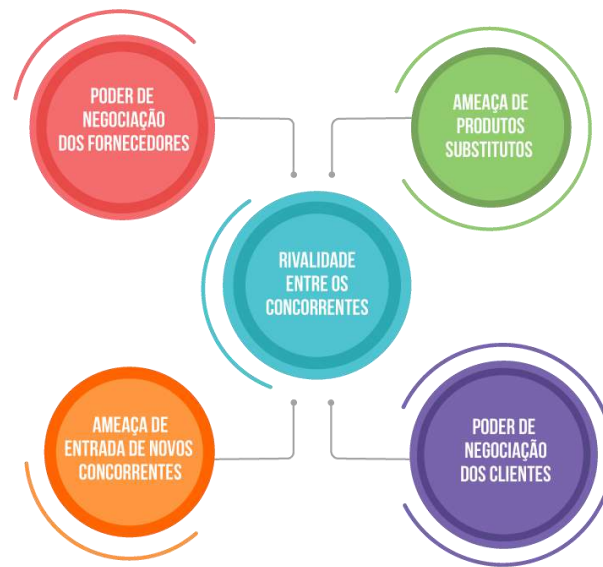


Figura 4 - As 5 forças competitivas de Porter. Retirado de Costa (2021).

Assim sendo, a análise estrutural do ramo de negócios é um processo fundamental para a elaboração da estratégia da organização, análise esta que deverá ser aprofundada em cada uma das cinco forças para obter a vantagem competitiva. A chave para o sucesso está na organização conseguir utilizar estas forças a seu favor quando possível e defender-se delas quando necessário (Porter, 1986).

Copra & Meindl (2003) consideram 4 fatores chave para o bom funcionamento da logística numa organização:

- 1) **Instalações:** “são os locais na rede da cadeia de abastecimento onde o *stock* é armazenado [...]”.
- 2) **Informação:** “[...] dados ou análises a respeito do stock, transporte, instalações e clientes, que fazem parte da cadeia de abastecimento”.

- 3) **Stock:** “[...] matéria-prima, produtos em processamento e os produtos acabados na cadeia de abastecimento”.
- 4) **Transporte:** “[...] movimento do stock de um ponto a outro na cadeia de abastecimento”.

Segundo F. Júnior (2017), há algumas formas de as empresas obterem vantagem competitiva no mercado:

- ♦ **Criar Valor:** A implementação da Logística tem o objetivo de corresponder às exigências cada vez maiores dos clientes e trazer vantagens tanto para a empresa como para os fornecedores e clientes. Para a criação de valor para o cliente podem enumerar-se:
 - Veículos próprios para controlar e assegurar a qualidade do serviço.
 - Telemarketing passivo e consultas *online* ao site da empresa para diminuir o tempo do ciclo pedido.
 - Oferecer tecnologia da informação para dar maior desempenho na colocação dos pedidos.
 - Oferecer agilidade e qualidade em todas as etapas do processo, mantendo o foco no cliente.
 - O serviço ao cliente é a principal fonte de vantagem competitiva, pois todos os processos, desde a manufatura, a logística e o marketing devem ser orientados segundo os requisitos dos clientes. Deste modo, num ambiente competitivo, perceber as expectativas dos clientes reflete-se diretamente no desempenho, proporcionando a vantagem competitiva.

- ♦ **Alianças e Parcerias:** “Uma aliança é uma parceria comercial que aumenta a eficácia das estratégias competitivas das organizações participantes, proporcionando o intercâmbio mútuo e benéfico de tecnologias, qualificações ou produtos baseados nesta” (Yoshino, 1997).

- ♦ **Custos:** Atualmente, a inovação é um fator fulcral para o sucesso de uma organização, no entanto esta exige elevados investimentos que implicam custos. O

perfil dos clientes tem-se alterado e estes esperam que as empresas melhorem os seus serviços pré e pós-venda, o controlo do tempo e os preços praticados. Todas estas exigências estão relacionadas com as operações logísticas, pois a qualidade, a rapidez e o custo ajustados ao consumidor final são fatores que associam vantagem competitiva a qualquer organização. O conceito de custo total levou a administração das organizações a examinar e compreender as inter-relações entre os custos estratégicos, táticos, operacionais, fixos e variáveis, diretos e indiretos (F. Júnior, 2017).

- ♦ **Operador Logístico:** O operador logístico poderá ser uma forma da organização obter vantagem competitiva por dois motivos, primeiro porque as empresas começam a optar pela terceirização dos serviços que não se incluem na sua atividade e em segundo pela redução de custos que esta opção proporciona. Assim, um operador logístico controla três instâncias da organização:
 - **Nível Estratégico:** O operador logístico procura novos mercados, ajuda na redução do custo total e ainda na obtenção de flexibilidade, rapidez, segurança e competitividade.
 - **Nível Tático:** O operador logístico procura serviços complementares que agreguem valor e criem uma parceria duradoura com os clientes.
 - **Nível operacional:** O operador logístico não se limita à entrega do produto e serviço, mas também com a recolha de dados sobre os consumidores úteis para possíveis futuras atividades. Conclui-se que o operador logístico se diferencia do transportador tradicional, pois foca-se em todas as necessidades do cliente e não apenas na execução da sua função (F. Júnior, 2017).

- ♦ **Comércio Eletrónico:** O comércio eletrónico refere-se ao negócio realizado por via de computadores ou comunicação de dados. Este tipo de comércio pode ser considerado a inovação com mais vantagens, tanto para as organizações como para as pessoas e a sociedade em geral. Deste modo, o comércio eletrónico pode ser usado como forma de vantagem competitiva através:
 - Da expansão do posicionamento da empresa, quer no mercado nacional ou internacional

- Do fornecimento de produtos e serviços mais baratos aos clientes e das transações possíveis de se realizar 24 horas por dia
- Da abrangência da informação, que pode ser consultada em qualquer lugar, a qualquer hora (F. Júnior, 2017).

- ♦ **Meios de Transporte:** O transporte, do ponto de vista logístico, é a distribuição de um produto de um ponto até outro. O planejamento correto desta movimentação, através da consideração de fatores como a capacidade, o custo, a segurança, a versatilidade e a rapidez, poderá ser uma forma de vantagem competitiva. Atualmente existem 5 tipos de modos de transporte com diferentes características:
 - **Aéreo:** Mais adequado para produtos de alto valor, pequeno volume e rapidez na entrega. Associado a custos elevados e pouca capacidade de carga.
 - **Pipeline:** Associado ao transporte de matéria-prima ou fontes de energia tais como petróleo e gás natural. O custo variável é baixo, no entanto a instalação das linhas e os direitos de uso requerem um elevado investimento.
 - **Ferroviário:** Muito utilizado em países desenvolvidos. Focado na importação e exportação de bens primários e de baixo valor, dada a sua grande capacidade. Elevados custos de manutenção.
 - **Marítimo:** Muito parecido com o transporte ferroviário no que respeita a capacidade de carga. Muito pouco utilizado para o transporte de mercadorias de alto valor, principalmente pelo fator tempo.
 - **Rodoviário:** Único modo de transporte capaz de operar sozinho, sem ter de se unir a outros para entregar o produto (F. Júnior, 2017).

Tabela 2 - Meios de Transporte e respectivas características. Adaptado de F. Júnior (2017)

| Meio de Transporte | Característica Principal | Exemplo de Veículo | Custo Fixo | Custo Variável | Manutenção | Capacidade de Carga |
|--------------------|--------------------------|--------------------|------------|----------------|------------|---------------------|
| Aéreo | Rapidez | Avião de Carga | Alto | Alto | Alta | Baixa |
| Pipeline | Facilidade | Gasoduto | Alto | Baixo | Baixa | Alta |
| Ferroviário | Grandes Distâncias | Trem de Carga | Alto | Baixo | Alta | Alta |
| Marítimo | Flexibilidade | Navio | Alto | Baixo | Alta | Alta |
| Rodoviário | Independência | Camião | Baixo | Baixo | Alta | Média |

2.2. Melhoria Contínua e Ferramentas

O *Kaizen* tem origem japonesa e resulta de combinação de *Kai* (mudar) e *Zen* (melhor), resultando no termo de melhoria contínua. *Kaizen* poderá significar melhorias não só em ambiente empresarial, mas também na vida social. Quando aplicada nas organizações implica a interveniência de colaboradores de todos os níveis operacionais e de gestão (Scotelano, 2007). Nos anos 70, as organizações continuavam focadas na produtividade e eficiência, o modo de gestão pouco havia mudado desde a segunda guerra mundial. Já a procura sofrera algumas mudanças e os consumidores procuravam produtos de maior qualidade e maior variedade. As organizações foram-se apercebendo que a solução seria a produção de produtos sem defeitos e com entregas rápidas, passando o foco a ser a produção de produtos com mais qualidade, mais baratos e com menos custos de produção. A partir destas novas preocupações surgiram as ferramentas de melhoria contínua e consequentemente o *Kaizen*. Segundo Quelhas (2009), a filosofia *Kaizen* é assente em 3 princípios fundamentais:

- ◆ Processos e Resultados.
- ◆ Não Culpar nem Julgar.
- ◆ Sistema Global.

2.2.1. 5S

O 5S é uma das ferramentas mais importantes quando se refere a implementação de metodologias *Lean* nas organizações, com o principal objetivo de reduzir o desperdício de recursos e fomentar a eficiência e eficácia operacional através da disciplina e responsabilidade de todos os intervenientes. Sendo o 5S direcionado apenas para as pessoas, aborda comportamentos básicos como a organização, o cuidado, a responsabilidade e a educação. Está comprovado que o resultado da implementação deste método traz resultados bastante positivos sem serem necessários grandes investimentos, sendo esta a principal vantagem. Deste modo, o 5S tem sido cada vez mais utilizado pelas empresas em todo o mundo dado o ambiente de trabalho muito agradável e motivador que proporciona aos colaboradores (S. Júnior, 2012). Esta ferramenta baseia-se em cinco valores essenciais, que em japonês começam por S: *Seiri* (Selecionar), *Seiton* (Organizar), *Seiso* (Limpar), *Seiketsu* (Padronizar) e *Shitsuke* (Disciplina).

- ♦ **Seiri:** *Seiri* ou “Selecionar” significa distinguir o que é estritamente necessário do que não é, de modo a excluir do posto de trabalho tudo o que não seja útil para a concretização das operações. Parte do *Seiri* inclui a identificação de materiais, equipamentos, ferramentas e informações necessárias e desnecessárias, descartando tudo o que é considerado desnecessário para as operações. O ser humano tem como hábito guardar materiais, ferramentas e informações que provavelmente nunca mais irá utilizar na sua vida. Assim sendo, o principal problema resolvido pelo primeiro S é não considerar utilizável um material de utilização não provável (Pires de Oliveira, 2016). Neste contexto, a matéria deverá ser toda separada segundo a sua utilidade. De seguida, toda a matéria, mesmo a que deixa dúvidas deve ser retirada do posto de trabalho. A matéria que deixa dúvidas deverá ser armazenada num local específico caso venha a ser necessária. As principais vantagens da implementação do *Seiri* são a redução do número de acidentes, a diminuição dos custos de manutenção e um melhor aproveitamento do espaço (Miki Matsubara, 2003).

- ♦ **Seiton:** *Seiton* está diretamente relacionado com as palavras “ordem” e “organização”. Este termo significa a colocação de cada objeto no local indicado para obter um local de trabalho o mais organizado possível. Através desta organização será mais fácil usar, procurar e localizar o material pretendido. Um dos procedimentos básicos deste S é a alocação lógica dos utensílios utilizados num posto de trabalho. Assim, a implementação do *Seiton* traz várias vantagens para a organização tais como um melhor fluxo de pessoas e materiais, menor desgaste físico e mental dos colaboradores e uma maior facilidade e rapidez em casos de emergência tal como o resgate de uma pessoa (S. Júnior, 2012).

- ♦ **Seiso:** *Seiso* ou “Limpar” é um conceito muito mais abrangente do que apenas a manutenção do local de trabalho limpo. Importa aqui sujar e desorganizar o menos possível o local de trabalho. Este S defende a limpeza regular e a identificação das fontes de sujidade e desorganização do posto de trabalho. Uma forma de controlo da limpeza é a criação de um documento de registo de data e local da limpeza, de modo que os colaboradores tomem este processo como algo prioritário. Através da limpeza será mais fácil encontrar possíveis falhas nos equipamentos e ferramentas,

proporcionar uma maior satisfação dos funcionários e diminuir ou anular o número de acidentes (S. Júnior, 2012).

- ♦ ***Seiketsu***: O 4º S significa padronizar e consiste na criação de padrões, normas e regras de modo a que todos os S sejam aplicados e mantidos. Através deste S são atribuídas tarefas específicas a cada colaborador de forma a ir de encontro a todos os S previamente abordados. A padronização de várias tarefas e processos exige também um controlo visual para que qualquer prática que não vá de encontro ao padrão estabelecido seja de imediato corrigida. Posto isto, a criação de políticas normalizadas permite que os colaboradores se mantenham mais focados nas suas funções essenciais, não permitindo que percam tempo com atividades supérfluas e desnecessárias, zelando assim pela sua saúde física e mental. Outras vantagens deste S são a melhoria da produtividade, o aumento da satisfação dos trabalhadores e a redução de falhas e avarias (S. Júnior, 2012).
- ♦ ***Shitsuke***: O último S, *Shitsuke*, ou disciplina, tem como principal objetivo assegurar a manutenção de todos os S através da implementação de certos comportamentos e hábitos. Este S preocupa-se com a sua integridade com a implementação de uma mentalidade responsável e direcionada para o sucesso em todos os colaboradores, de modo a que desempenhem as suas funções de forma exímia, evitando assim intervenções desnecessárias da chefia. Nesta fase, a chefia desempenha um papel muito importante, realizando diversas auditorias, com uma certa periodicidade, de modo a controlar a aplicação da metodologia como um todo. Importa ainda que os níveis superiores de gestão da organização disponibilizem todos os recursos necessários para a sustentabilidade do programa, desde produtos de limpeza até formações. Deste modo, a chefia e os colaboradores devem estar sempre em contacto e sincronizados (Michalska & Szewieczek, 2007).

2.2.2. Análise ABC

A curva ABC (ou curva 80-20) é um método de classificação de informações que salienta os produtos de maior importância que na maior parte das vezes se apresentam em menor número (J. C. Carvalho, 2002). Esta metodologia pode também ser utilizada na

classificação de clientes quanto ao seu volume de negócios, à lucratividade proporcionada, entre outros (Sacomano, 2004).

Vilfredo Pareto foi o criador deste modelo, um engenheiro e economista italo-suíço que estudou a distribuição da riqueza no seu país tentando descrevê-la estatisticamente. Durante a realização dos seus estudos, pôde concluir que apenas 20% da população possuía a maior parte da riqueza, ou seja, por volta de 80% do capital total da população. Desta forma, expôs essa distribuição graficamente numa curva cumulativa que viria a ficar conhecida como a Lei de Pareto (Sacomano, 2004). No mundo empresarial, a curva ABC tem inúmeras utilidades, sendo muito utilizada na gestão de *stocks*, na definição de políticas de vendas, no estabelecimento de prioridades, nas programações de produção, entre muitos outros. A curva ABC baseia-se no princípio de Pareto, o qual defende que o padrão de distribuição de renda é histórica e geograficamente constante, independentemente das políticas contributivas e do bem-estar social. É fundamental que durante o processo de definição dos critérios de formação dos departamentos comerciais se tenha em atenção que estes devem permitir criar grupos significativos de clientes, seja pelo número de clientes ou pelo volume massificado do indicador. Importa que o critério apresentado seja específico e mensurável.

Segundo Milani et al. (2015), a construção da Base de Dados revela-se provavelmente como uma das mais importantes fases do processo, pois garante a fiabilidade das informações utilizadas. Foram definidas algumas considerações a ter em consideração antes da realização da análise para garantir que todas as análises sejam realizadas sobre o mesmo ponto:

- ♦ **Período de tempo:** normalmente são utilizados períodos de tempo baseados no calendário, semanas, quinzenas, meses, trimestres, semestres, anos, entre outros.
- ♦ **Faturação:** este ponto reflete a faturação bruta de cada cliente, ou seja, todo o valor pago pelo cliente para adquirir os produtos e serviços da empresa, inclusive impostos.
- ♦ **Base de dados:** conjunto de dados necessários para a realização da análise. Nesta análise são apenas necessárias duas informações: o nome do cliente e a sua faturação no período de tempo em análise.

Milani et al. (2015) referem que a faturação por cliente é a dimensão definida para a realização da análise por ser um indicador de fácil acesso a todas as organizações. A

faturação é tratada pela legislação contributiva para recolha de impostos, estando diretamente relacionada com a receita bruta de um determinado período de tempo. As organizações tentam manter sempre o controlo total sobre a sua faturação para evitar possíveis problemas contributivos e pagamentos de multas, tornando este indicador fiável para as análises comerciais.

A construção da curva pode adotar vários processos e métodos, sendo possível adaptar-se a cada carteira de clientes diferente. Na Figura 5 é apresentada curva normal e sem alterações, dividindo a mesma em 3 níveis (A, B, C). O processo de construção divide-se em quatro passos:

1. Ordenar os clientes por ordem decrescente segundo os seus valores de faturação bruta.
2. Dividir a faturação de cada cliente pela faturação total, obtendo-se a percentagem relativa que cada cliente tem na carteira.
3. Construir a percentagem acumulada, somando o valor atual com o valor imediatamente anterior.
4. Atribuir o segmento aos valores acumulados. Para o segmento “A” adota-se todo o valor acumulado até à marca de 80%, para o segmento “B” todo o valor acumulado até à marca de 95% e para o segmento “C” todo o valor acumulado até à marca de 100%.

Importa realçar que as percentagens referidas no quarto passo podem variar, podendo ser adaptados ao tipo de problema existente, ao número de clientes da organização, à faturação bruta, entre outros critérios (Milani et al. (2015)).

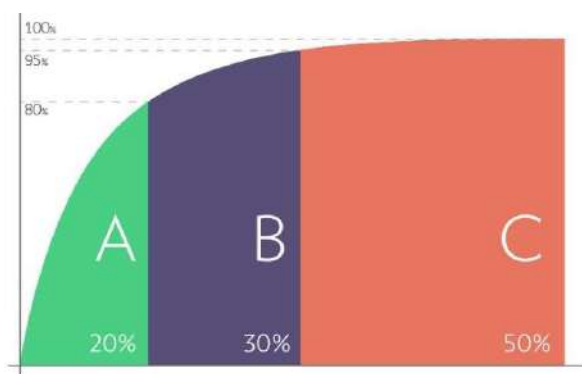


Figura 5 - Curva ABC. Retirado de Matos (2018).

2.3. Problema de distribuição e encaminhamento de veículos

O transporte rodoviário é o meio predominante de transporte de bens na Europa e noutras partes do mundo. O custo associado a este tipo de transporte aumentou significativamente desde o ano 2000 e ainda mais nos últimos tempos devido ao aumento do preço do petróleo. Além disso, este transporte está intrinsecamente associado a custos indiretos ou externos tais como a poluição, custos relacionados com a segurança e proteção, a mobilidade e os custos de tempo de atraso. Normalmente estes custos não são tidos em conta nos cálculos devido ao elevado grau de dificuldade de os quantificar (Sinha & Labi, 2007). Por exemplo, os congestionamentos de trânsito nas áreas metropolitanas constituem um sério desafio para a competitividade da indústria. De acordo com Essen et al. (2008), os custos associados ao congestionamento do trânsito representam 1-2% do PIB Europeu, uma percentagem que continua a subir. Tal como este custo facilmente observável, muitos outros podem ser considerados. Assim sendo, devem ser desenvolvidos novos métodos para suportar o processo de decisão de forma que estratégias ótimas ou quase ótimas possam ser adotadas no transporte rodoviário.

Neste contexto, o problema de distribuição e encaminhamento de veículos, também conhecido como VRP consiste em desenhar rotas ótimas de recolha ou entrega de produtos a partir de uma sede para um conjunto de clientes geograficamente dispersos sujeito a várias restrições como a capacidade do veículo ou o comprimento da rota. Este problema é enfrentado diariamente por milhares de distribuidores e tem uma importância económica significativa. O problema foi abordado pela primeira vez por Dantzig e Ramser, dando origem a uma pesquisa exaustiva da literatura (Laporte, 2007).

Apesar de parecer um processo muito simples, em termos de teoria da complexidade computacional, a versão clássica do VRP e as suas variantes são NP-hard (*Non-deterministic Polynomial-time hard*). Isto significa que, na prática, não será possível garantir uma solução matemática ótima (Garey & Johnson, 1979) em tempo computacional aceitável. Contrariamente ao que acontece com muitos problemas de otimização bem conhecidos, pode ser difícil encontrar uma definição universal para o VRP devido à grande diversidade de restrições encontradas na prática.

O problema consiste em determinar um número de rotas ideal sabendo que os veículos saem da sede e no fim da rota voltam para a mesma. Cada cliente é visitado por

- Quando o número de veículos é ilimitado denomina-se de *Fleet Size and Mix VRP (FSMVRP)*.
 - No caso de um tipo específico de veículo não conseguir alcançar um cliente por alguma razão, o problema denomina-se de *Site-Dependent VRP (SVRP)*.
 - Por fim, se um veículo puder realizar mais do que uma viagem o problema terá a designação de *HVRP with multiple use of vehicles (HVRPM)*.
- ◆ ***Multiple Depots VRP (MDVRP)***: Uma empresa conta com vários armazéns que podem servir os clientes. Deste modo, as rotas terão diferentes pontos de partida e chegada.
 - ◆ ***Open VRP (OVRP)***: As rotas planeadas podem terminar em vários pontos, não obrigatoriamente na sede.
 - ◆ ***Periodic delivery VRP (PVRP)***: A otimização é realizada para um determinado número de dias, não necessariamente diariamente. Os clientes podem não ter de ser visitados no próprio dia, tendo diferentes frequências de entrega.
 - ◆ ***Pickup-and-delivery VRP (PDVRP)***: Cada cliente é associado a duas quantidades, uma que deve ser entregue ao cliente e a outra que deve ser carregada e trazida para a sede. O modelo deve garantir que a capacidade do veículo não é excedida em nenhum ponto da rota tendo em conta as recolhas e as entregas. Outra variante deste modelo aparece quando uma das recolhas não volta para a sede, mas é sim entregue num outro cliente. Em alguns casos, o veículo deve carregar e descarregar itens no mesmo cliente na mesma visita. (***Simultaneous Pickup-and-delivery VRP***). Importa salientar ainda outra importante variante (“*one-to-many-to-one*”), o que significa que todas as entregas estão inicialmente na sede e que todas as recolhas têm como destino a sede também. De forma geral, as entregas podem ser vistas como uma única mercadoria e as recolhas como uma segunda mercadoria. Esta variante é normalmente denominada de ***Delivery-and-Collection***.
 - ◆ ***Split-delivery VRP (SDVRP)***: O mesmo cliente pode ser servido por diferentes veículos se isso reduzir o custo total. Este desdobramento do problema básico é importante nos casos onde o pedido de um cliente pode ser tão grande quanto a dimensão do veículo.

- ♦ **Stochastic VRP:** Existe um aspeto realista no problema de encaminhamento onde é considerado um determinado comportamento aleatório. Este poderá ser a presença de um cliente, a sua procura, o seu tempo de serviço ou o tempo de viagem entre clientes.
- ♦ **VRP with Backhauls (VRPB):** Tal como no PDVRP, os clientes estão divididos em dois subconjuntos. O primeiro diz respeito aos clientes “linehaul” que exigem que uma determinada quantidade de produto seja entregue e o segundo diz respeito aos clientes em que uma determinada quantidade de produto deve ser carregada, ou seja, os clientes “backhaul”. Observa-se que todos os clientes “linehaul” devem ser visitados antes dos clientes “backhaul”.
- ♦ **VRP with Time Windows (VRPTW):** Cada cliente está associado a um intervalo de tempo e pode apenas ser servido neste intervalo. Neste problema a dimensão tempo é introduzida e deve considerar o tempo de viagem e de serviço. Também poderá ser considerada uma janela de tempo para cada cliente (**VRP with Multiple Time-Windows**). Estas janelas de tempo podem ainda ser flexíveis dependendo de custos extra. (**VRP with Soft Time-Windows**).
- ♦ **Green VRP (GVRP):** Esta variante do VRP visa incluir diferentes problemas ambientais no processo de otimização, por exemplo as emissões de gás, poluição, desperdício e barulho.

2.3.2. Métodos de Resolução *Vehicle Routing Problem*

O VRP já foi alvo de inúmeras abordagens que vão desde a resolução de problemas de natureza pequena ou média dimensão com recurso a métodos de otimização tais como programação matemática e poucas restrições até à resolução de problemas de grande dimensão com restrições mais complexas, resolvidos com recurso a Heurísticas. Estas heurísticas focam-se em três aspetos fundamentais: resolver os problemas mais rapidamente, resolver problemas de maior dimensão e obter algoritmos mais robustos. Os métodos matemáticos estão relacionados com algoritmos e com a teoria da complexidade computacional. As metaheurísticas proporcionam soluções aceitáveis, em tempo razoável para resolver problemas difíceis e complexos (Talbi, 2009) e representam heurística com uma estrutura própria bem definida. A Figura 7 representa de forma resumida os diferentes métodos que são utilizados na resolução do VRP.

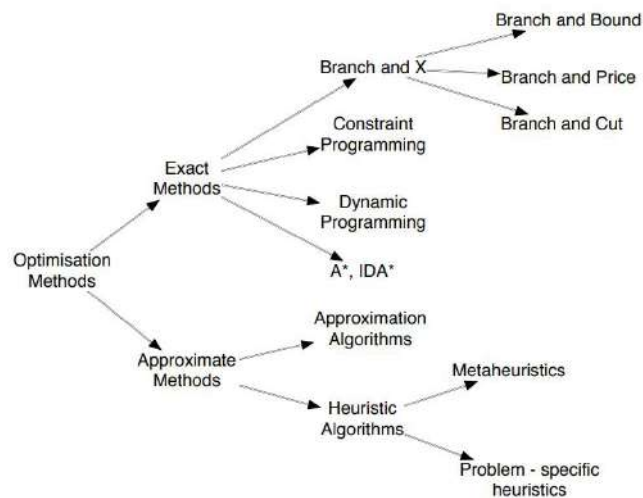


Figura 7 - Métodos de Otimização VRP. Retirado de Guimarans et al. (2011).

Métodos Exatos de Programação Matemática

Talbi (2009) refere que “Modelos exatos obtêm soluções ótimas e garantem a sua otimização”. Este tipo de técnica é muitas vezes aplicado a problemas de pequena dimensão. Os métodos exatos incluem vários outros métodos secundários. Um dos modelos é o *Branch-and-X*, onde o *X* representa as diferentes variantes de ramificação (nomeadamente *Branch-and-bound*) e é utilizado para resolver problemas de Programação Linear Inteira e Programação Linear Inteira Mista e ainda de Programação Dinâmica que se foca em resolver problemas mais complexos, separando-os em problemas mais simples (Kok et al., 2010).

Da mesma forma, o *Column Generation* é uma técnica popular usada para resolver problemas de programação linear de maior dimensão e que consiste em dividir o problema em dois problemas: o problema principal e o subproblema. Esta técnica permite simplificar o problema original com apenas um subconjunto de variáveis no problema principal. Uma nova variável é criada no subproblema que será minimizada na função objetivo com as variáveis duais associadas à solução atual e às restrições associadas à nova variável. O *Set Partitioning* é outra formulação que inclui variáveis binárias associadas a cada rota viável. Esta técnica é um pouco geral e pode considerar várias restrições para definir as relações entre variáveis (Hentenryck, 1989). Existem ainda outras técnicas para resolver os problemas de forma exata, no entanto a formulação matemática tradicional MILP (*Mixed Integer Linear Programming*) é uma das que representa a realidade de uma forma mais fácil de interpretar

e que pode conter variáveis contínuas, inteiras e/ou binárias que se associam de forma linear na resolução do problema.

Segundo Moura (2022) o modelo básico de VRP é uma generalização do TSP. Este problema pode ser definido como um conjunto de clientes e uma frota de veículos homogéneos, isto é, veículos com a mesma capacidade. Para cada par de clientes (i,j) existe um custo de ligação c_{ij} . O VRP consiste em determinar as rotas de custo mínimo para os veículos, satisfazendo as seguintes condições:

- ♦ Todas as rotas iniciam e terminam no mesmo armazém;
- ♦ A procura dos clientes tem de ser satisfeita;
- ♦ Para cada rota, a capacidade dos veículos não pode ser excedida.

O VRP pode ser formulado matematicamente sendo:

C: conjunto de clientes e armazéns, $C = 1, 2, \dots, n$;

c_{ij} : custo de deslocação entre cliente i e cliente j, $\forall i, j \in C$;

q_j : quantidade de encomenda do cliente i, sendo $q_0 = 0$;

Cap: Capacidade de cada veículo

Considerando as seguintes variáveis de decisão:

f_{ij} a quantidade de fluxo enviado entre o cliente i e o cliente j, $\forall i, j \in C$;

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o arco } (i, j) \text{ for utilizado} \\ 0, & \text{se não} \end{cases}$$

Função objetivo:

$$\min \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} \times x_{ij} \tag{0}$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=0}^n x_{ik} = 1, \forall k \neq 0 \in C \quad (1)$$

$$\sum_{j=0}^n x_{kj} = 1 \forall k \neq 0 \in C \quad (2)$$

$$\sum_{j=0}^n x_{0j} = \sum_{i=0}^n x_{i0} \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^n f_{jk} - \sum_{i=0}^n f_{kj} = q_k; \forall k \neq 0 \quad (4)$$

$\in C$

$$f_{ij} \leq cap \times x_{ij}; \forall i, j \in C \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}; f_{ij} \geq 0; \forall i, j \in C \quad (6)$$

O objetivo do modelo é minimizar o custo total do transporte. As Equações 1 e 2 garantem que a cada cliente apenas chega e sai um único arco, exceto na sede que poderá existir mais do que um arco. A Equação 3 garante que o número de arcos que entram na sede é exatamente igual ao número de arcos que saem. A Equação 4 garante que o fluxo que entra num cliente, subtraído pelo que sai, é igual à quantidade da encomenda desse cliente, exceto na sede. A Equação 5 garante que o fluxo máximo que passa num arco do percurso, é inferior à capacidade máxima do veículo. A última Equação 6 é uma restrição de integridade e não negatividade.

Alguns autores apresentam técnicas híbridas que tiram partido dos métodos exatos para resolver partes específicas do problema e métodos heurísticos para resolver outras particularidades do problema.

Métodos Heurísticos

Talbi(2009) refere que “As heurísticas encontram boas soluções em problemas de grande dimensão”. Estas permitem obter um desempenho aceitável, a custos aceitáveis numa ampla gama de problemas. Não oferecem uma solução ótima garantida, mas soluções de boa qualidade. São adaptados e projetados para resolver um problema específico e/ou instância.

Existem heurísticas muito simples e básicas de resolver como é o caso da *Greedy Heuristic*. Este modelo baseia-se em algoritmos que resolvem os problemas através da melhor escolha local em cada passo. Em vários problemas, uma estratégia *Greedy* não produz uma solução ótima mas uma heurística *Greedy* pode obter soluções ótimas locais que se aproximam de uma solução ótima global num período de tempo aceitável. Por exemplo, uma estratégia *Greedy* aplicada ao TSP é a seguinte heurística: “A cada passo, visita a cidade mais perto que ainda não foi visitada”. Esta heurística não procura encontrar a melhor solução, mas termina num razoável número de passos.

As metaheurísticas são heurísticas com uma estrutura bem definida e que podem ser aplicadas para resolver quase todos os problemas de otimização. Estas podem ser vistas como metodologias gerais de nível superior que podem ser usadas como uma estratégia orientadora na conceção de heurísticas subjacentes. O autor também propõe que dois critérios contraditórios devem ser tidos em conta:

- ♦ **Diversificação:** a exploração do espaço de procura.
- ♦ **Intensificação:** a exploração das melhores soluções encontradas.

As regiões promissoras são determinadas pelas boas soluções obtidas. Na intensificação, as regiões promissoras são exploradas de uma forma mais rígida na esperança de encontrar melhores soluções. Na diversificação, as regiões não exploradas devem ser visitadas para certificar que todas as regiões do espaço de procura são uniformemente exploradas e que a procura não está confinada a um número reduzido de regiões (Talbi, 2009).

Existem inúmeras metaheurísticas inspiradas em processos naturais como o *Genetic Algorithm* (GA) e o *Ant Colony Algorithm* (ACO). Por exemplo, a metaheurística ACO é inspirada nos mecanismos de comunicação e cooperação entre formigas que lhes permite encontrar o caminho mais curto entre o seu ninho e as fontes de alimento. O meio de comunicação é um composto químico (feromona). A quantidade de feromona é representada por um peso no algoritmo. Nos algoritmos ACO, o intervalo de valores feromona pode ser controlado. Este tipo de técnica também pode ser classificado como uma metaheurística baseada numa população, pois esta melhora iterativamente uma população de soluções (Talbi, 2009).

Existem outras técnicas que são baseadas no uso de memória (curta, média e longa). *Tabu Search* (TS) é uma metaheurística baseada na pesquisa local onde, a cada iteração, a melhor solução na vizinhança da corrente solução é selecionada como melhor solução, ainda

que provoque um aumento no custo da solução. Uma memória a curto-prazo armazena soluções visitadas recentemente para evitar ciclos de curto prazo. Esta família pode ser considerada uma metaheurística baseada numa solução única, uma vez que se dedica a melhorar uma única solução de cada vez. Uma característica comum é que todos incluem a definição de construção de uma solução inicial. São ainda apontadas outras técnicas promissoras como a *Variable Neighbourhood Search* (VNS) e a *Greedy Randomised Adaptive Search Procedure* (GRASP). O VNS tem sido muito utilizado em vários problemas. É baseado numa exploração sucessiva de um dado número de vizinhanças predefinidas para encontrar uma solução melhor em cada passo. *Large Neighbourhood Search* (LNS) pode ser interpretado como um caso especial de VNS onde procedimentos eficientes são desenhados para considerar um elevado número de vizinhanças ao mesmo tempo. Dentro deste ramo, pode encontrar-se uma das primeiras técnicas usadas para o *Travelling Salesman Problem* (TSP) que é a *Nearest Neighbourhood*. O TSP consiste em encontrar uma rota para um vendedor que parte da sua casa, visita um certo número de cidades predefinidas e volta a casa, de forma a que a distância total seja mínima e que cada cidade seja apenas visitada uma vez. O algoritmo *Nearest Neighbourhood* garante que o vendedor visita sempre a cidade mais próxima ainda não visitada, repetindo o processo até que tenha visitado todas as cidades, retornando nesta fase a casa (Talbi, 2009).

Simulated Annealing (SA) é outro método de solução única baseado no mesmo princípio físico usado no processo de aquecer e arrefecer lentamente uma substância de forma a produzir uma estrutura cristalina forte. Assim sendo, é normalmente utilizado um parâmetro de temperatura para controlar o processo.

De acordo com Gama (2011) o método de Clarke&Wright foi proposto numa primeira fase, em 1964, pelos autores com o principal objetivo de resolver o VRP quando o número de veículos não é limitado. Nesta fase, o método apenas considera o depósito e outro vértice para que em cada fase do processo sejam combinadas duas rotas com base no maior ganho que possa ser obtido. Já Ballou (2006), realça que o objetivo do método passa por minimizar a distância total percorrida pelos veículos, minimizando assim o número de veículos necessários para satisfazer a procura de todos os pontos.

O método de Clarke & Wright tem como base o ganho de cada rota através de dois cenários diferentes: o primeiro consiste no pior cenário possível, onde o veículo visita um cliente de cada vez e volta à sede após cada visita. Na segunda hipótese, o veículo visita um par de clientes e só depois volta para a sede. Laporte (1992) e Gama (2011) descrevem a equação (Equação 7) de cálculo do ganho e dividem o modelo em 5 fases.

$$G_{i,j} = d_{CD,i} + d_{CD,j} - d_{i,j} \quad (7)$$

Onde:

$G_{i,j}$ é o ganho da equação.

$d_{CD,i}$ é a distância do CD para o ponto i;

$d_{CD,j}$ é a distância do CD para o ponto j;

$d_{i,j}$ é a distância entre os pontos i e j.

As cinco fases do modelo dividem-se em:

Fase 1: Combinar todos pontos aos pares;

Fase 2: Calcular o ganho de todos os pares;

Fase 3: Ordenar os ganhos do maior para o menor;

Fase 4: Analisar os pares de pontos, também de forma decrescente;

Fase 5: Considerar duas rotas com os arcos (i,1) e (1,j) e caso o ganho seja maior que zero, introduzir o arco (i,j), eliminando os outros arcos iniciais. Repetir o processo 5 até que não haja melhorias possíveis.

Christofides et al. (1979) realçam que o passo 5 pode ser executado paralelamente ou sequencialmente. Paralelamente, caso certo par de pontos resulte numa junção de rotas, onde é importante observar todas as restrições previamente impostas pelo problema que não sendo violadas devem permitir a junção. Na forma sequencial, é de todo importante encontrar a primeira junção viável na lista que pode ser utilizada para estender um dos dois pontos extremos da rota escolhida. No caso da rota não poder ser expandida ou de não existirem rotas, deve ser escolhida a primeira junção da lista e uma nova rota deve ser iniciada, sendo o processo repetido até que não sejam possíveis mais junções. Segundo Gendreau et al. (1994), a execução em paralelo costuma ser mais eficiente, pois o maior ganho é sempre implementado, contrariamente à forma sequencial que expande a mesma rota até que a mesma não seja mais viável. Contudo, sendo o processo heurístico, não é possível verificar se a solução encontrada é a solução ótima, nem mesmo que se aproxime da mesma.

2.3.3. Ferramentas para resolução do VRP

Sendo o VRP um problema amplamente abordado desde longa data, foram surgindo algumas ferramentas e bibliotecas para auxiliar no processo de tomada de decisão e permitir a criação de um planeamento da distribuição. Neste projeto vão ser utilizadas e comparadas diferentes abordagens, nomeadamente a utilização de uma biblioteca em linguagem de programação Python¹ (VRPy) e uma folha de cálculo desenvolvida pelos autores Pisinger & Ropke (2007).

Abordagem VRPy

O VRPy é uma biblioteca em linguagem de programação Python que permite resolver o VRP através de uma abordagem de geração de colunas ou heurística, utilizando o método heurístico de Clarke & Wright. O termo geração de colunas refere-se ao facto que iterativamente, as rotas (ou colunas) são criadas com um subproblema (*Pricing problem*) que alimenta um problema principal que selecciona as melhores rotas, garantindo que cada vértice é visitado exatamente uma vez. Os autores da biblioteca basearam a sua formulação na formulação proposta pelos autores Bramel & Simchi-Levi (1997). No problema principal da geração de colunas é considerado um grafo $G = (V, A)$, onde V representa o conjunto de vértices a serem visitados e A representa o conjunto de arestas da rede. Considere-se Ω o conjunto de rotas viáveis e λ_r uma variável binária que toma valor 1 apenas se a rota $r \in \Omega$ com custo c_r for seleccionada. O problema principal pode ser representado como:

$$\min \sum_{r \in \Omega} c_r \lambda_r \quad (8)$$

Sujeito a:

$$\sum_{r \in \Omega | v \in r} \lambda_r = 1, \forall v \in V \quad (9)$$

$$\lambda_r \in \{0, 1\}, \forall r \in \Omega \quad (10)$$

Na abordagem de geração de colunas, as restrições de integridade (Equação 10) são satisfeitas (de tal modo que $0 \leq \lambda_r \leq 1$), e apenas um subconjunto de Ω é utilizado. Este

¹ Disponível em <https://vrpy.readthedocs.io/en/latest/> (consultado em fevereiro 2023)

subconjunto é criado dinamicamente através da execução do subproblema. Este consiste num problema de caminho elementar mais curto e restrições adicionais que permitem limitar a capacidade do veículo ou tempo da rota. A adição destas restrições dá origem a um problema de caminho mais curto com restrições de recursos. Se existirem ciclos de custos negativos (o que tipicamente acontece), a formulação apresentada pelas Equações 8-10 requer restrições adicionais para impor a elementaridade do caminho, tornando o problema computacionalmente intratável. A biblioteca VRPy não garante a obtenção de uma solução ótima, mesmo na abordagem com geração de colunas, uma vez que o subproblema pode ter que ser resolvido através de um método heurístico. Esta biblioteca permite ainda a utilização da heurística de Clarke & Wright para obtenção de uma solução.

Abordagem VRP *Spreadsheet Solver*

Segundo Erdoğan (2017), o VRP *Spreadsheet Solver* é um modelo de resolução do VRP que facilita a resolução através da familiaridade da sua interface, facilidade de uso, flexibilidade e acessibilidade. O Excel é o software mais utilizado para análises de negócios de pequena e média escala e tem sido usado por todo o mundo, tanto no ensino como na indústria. O código do Solver foi desenvolvido através do *Visual Basic for Applications* (VBA), é de fonte aberta e pode ser percebido e modificado por programadores de nível médio. O VRP *Spreadsheet Solver* possui funções integradas para consultar um servidor web GIS (*Geographic Information System*), a partir do qual as distâncias, tempos de condução e mapas podem ser obtidos. Este solver está disponível para download² em sites académicos sem qualquer tipo de custo e já foi transferido mais de 2000 vezes.

Este modelo já foi utilizado na prática por muitas organizações em diversos setores e países. As organizações que deram *feedback* foram duas empresas americanas na indústria do petróleo, uma Argentina na indústria agrícola, uma Finlandesa no setor do turismo e duas cadeias de entrega de alimentos refrigerados em Taiwan e na Turquia, tendo todas referido poupanças significativas. Os criadores acreditam que o modelo tem o potencial de ser usado em todo o mundo e ajudar empresas pequenas e médias a poupar e consequentemente reduzir as emissões de CO₂.

² Disponível em <https://vrp-spreadsheet-solver.en.download.it/> (Consultado em fevereiro de 2023)

O progresso do *hardware* computacional e da otimização de software têm feito com que melhores algoritmos e implementações do VRP tenham surgido todos os anos. Os algoritmos exatos de VRP são limitados a 200 clientes e a confiabilidade diminui significativamente quanto mais variantes forem incluídas, como por exemplo a utilização de uma frota heterogênea ou restrições que limitam a distância ou tempo para efetuar uma rota. Por outro lado, as meta-heurísticas conseguem suportar instâncias de maior dimensão e restrições operacionais detalhadas, mas não conseguem oferecer garantias matemáticas de desempenho, nem garantam a obtenção de uma solução ótima.

O VRP Spreadsheet Solver consegue resolver mais de 64 variantes do VRP baseado em funcionalidades relacionadas com visitas seletivas a clientes, recolhas e entregas simultâneas, janelas de tempo, composição de frota, localização, restrição de distância e o destino final do veículo. Algumas destas variantes são relevantes na prática, mas não foram formalmente estudadas. Este modelo pode então fornecer um ponto de partida e um resultado de referência para estudos futuros sobre determinados problemas.

No VRP *Spreadsheet Solver*, a função objetivo maximiza o lucro total menos o custo de viagem dos veículos, os custos fixos do uso dos veículos e as penalizações por desrespeitar as janelas de tempo. Importa enunciar as restrições definidas nas regras de visita dos clientes pelos veículos. A primeira impõe que os clientes que têm de ser visitados sejam realmente visitados e a segunda assegura que cada cliente é visitado apenas uma vez. A terceira restrição é uma forma suave de restrição de conservação, onde um fluxo de saída requer um fluxo de entrada, permitindo que o veículo não tenha de retornar à sede. A quarta restrição permite a conectividade entre a sede (onde o veículo sai) e todos os clientes que visita, enquanto que a quinta restrição obriga o veículo a voltar à sede se necessário. A restrição seis assegura que cada veículo pode ser utilizado apenas uma vez. Existem ainda restrições que definem os requisitos dos clientes. Duas que garantem a conservação do fluxo da mercadoria recolhida e duas que garantem o fluxo da mercadoria entregue. Uma restrição é baseada nas restrições de eliminação Miller-Tucker-Zemlin (Miller et al., 1960) e fornece as estruturas para as janelas de tempo. Os limites máximos e mínimos das janelas de tempo de cada cliente, bem como a penalização pelo desrespeito às mesmas é controlado por duas restrições distintas. As restrições finais estão relacionadas com os veículos, controlando o tempo de início de trabalho de determinado veículo e assegurando que o mesmo retorna à sede se for o caso. Outras restrições garantem que a capacidade máxima de carga do veículo, a distância máxima, e o tempo de trabalho não são ultrapassados.

O modelo recorre a uma variante do *Adaptive Large Neighborhood Search* (ALNS) de Pisinger & Ropke (2007), devido à sua flexibilidade em relação a inúmeras restrições. Este algoritmo diversifica a procura, removendo aleatoriamente clientes da solução atual e intensifica a solução através da reinserção de clientes e através da procura local. O algoritmo LNS implementado juntamente com o VRP Spreadsheet Solver pode ser explicado pelos passos:

1. Executar procedimento LNS (sede, clientes, distâncias, duração, veículos).
2. Construir uma solução adicionando clientes às rotas, escolhendo o cliente que resulta no maior lucro possível (tal como o menor custo) em cada passo.
3. Melhorar a solução usando a procura local e os operadores TROCA, 1-OPT, 2-OPT e TROCA DE VEÍCULO.
4. Guardar a solução obtida como melhor solução.
5. Repetir.
6. Destruir a solução retirando clientes aleatoriamente.
7. Reparar a solução heurísticamente, adicionando clientes.
8. Melhorar a solução usando os operadores de TROCA, 1-OPT, 2-OPT e TROCA DE VEÍCULO.
9. Se a solução for melhor que a melhor solução já obtida, guarda-se, caso contrário volta-se à melhor solução anterior e repete-se o processo até que o tempo decorrido seja maior que o tempo de CPU (*Central Processing Unit*) permitido.

O operador TROCA procura todos os pares possíveis de clientes numa dada solução e verifica se a sua troca resultaria num valor melhor da função objetivo. O operador 1-OPT examina a possibilidade de remover os clientes dentro de uma determinada solução, reinserindo-os numa solução diferente (dentro das rotas) para melhorar a função objetivo. O operador 2-OPT tenta remover dois arcos da solução de cada vez, por exemplo o arco do cliente A até ao cliente B e o arco do cliente B até ao C. Para manter a viabilidade, adiciona o arco do cliente A ao cliente D e o arco do cliente B ao cliente C e verifica se a solução resultante tem um melhor valor da função objetivo. O operador TROCA DE VEÍCULO tenta trocar todos os clientes nas rotas de dois veículos de diferente tipo, sendo particularmente útil para os casos de frotas heterogéneas.

O VRP Spreadsheet Solver contém os dados de todos elementos do VRP em folhas de cálculo separadas e adota um fluxo incremental de informação. Inicialmente, o ficheiro apenas contém uma folha de cálculo denominada VRP Solver Console. As folhas de cálculo restantes (Localização, Distâncias, Veículos, Solução, Visualização) são geradas na sequência indicada pelos seus índices que representa o fluxo de informação entre folhas de cálculo, onde as setas representam a dependência de uma folha de cálculo em relação a uma outra.

De forma a guiar o utilizador sobre quais as células da folha de cálculo que deve editar, o modelo recorreu a cores. As células com o fundo preto não podem ser modificadas. As células com o fundo verde são parâmetros ou decisões a serem definidas pelo utilizador. As células com o fundo amarelo são preenchidas automaticamente pelo modelo, podendo ser editadas para análises de “e se”. As células com o fundo laranja são um aviso. As células vermelhas significam um erro.

Esta folha de cálculo armazena e fornece informação para o resto das folhas de cálculo como apresentado na Figura 8. Contém vários parâmetros sobre o tamanho da amostra e as suas características, incluindo o número de depósitos e clientes, número de tipos de veículos, janelas de tempo. Ainda nesta folha, o utilizador pode definir as opções de dados do GIS e o tempo que o utilizador define para que o solver possa resolver o problema.

- ♦ **Localizações:** Os detalhes das localizações incluem os nomes, moradas, coordenadas, janelas de tempo e os requisitos de recolha e entrega que são tidos em consideração nesta fase. As coordenadas podem ser inseridas manualmente, copiadas e coladas de uma fonte externa ou calculadas usando o serviço web GIS baseado na morada escrita pelo utilizador. Importa providenciar um código-postal em cada morada, evitando erros do sistema. É possível proibir os veículos de visitar certos clientes usando as opções do modelo.
- ♦ **Distâncias:** O modelo contém as distâncias e a duração da viagem entre dois pontos que são especificados nas localizações. Usando o serviço de web GIS para calcular as distâncias de condução que demora cerca de 5 minutos para 50 localizações e 45 minutos para 150 localizações. O número de localizações para o qual as distâncias podem ser calculadas é limitado pelo GIS e o tipo de acesso que o utilizador tem no programa. O parâmetro sobre o tipo de rota (mais rápida ou mais curta) é crucial. Escolhendo a rota mais curta, o modelo opta pelas rotas que atravessam o centro

das cidades, sujeita a limites de velocidade e elevado tráfico. Posto isto, usar as rotas mais rápidas é normalmente uma melhor opção para operações de entrega de longa distância. Por outro lado, as rotas mais rápidas podem usar muito frequentemente autoestradas secundárias da cidade, sendo prejudicial para as empresas que realizam muitas entregas dentro da própria cidade. É ainda possível calcular as durações da viagem em tempo real consoante o trânsito através do serviço GIS.

- ♦ **Veículos:** As informações sobre os tipos de veículos são mantidas nesta folha de cálculo. O utilizador pode definir o número de veículos de cada tipo destinados a cada depósito. A informação inclui os custos por unidade de distância e o custo de cada viagem, bem como parâmetros operacionais como o depósito, a capacidade, o limite de tempo de condução e a distância limite que um veículo pode percorrer. Existe apenas um parâmetro de capacidade que corresponde à capacidade de peso dos camiões no caso de uma operação de escavação, a capacidade de volume dos camiões-tanque no caso de transporte de petróleo, ou o máximo de passageiros no caso de encaminhamento de autocarros.
- ♦ **Solução:** Nesta folha de cálculo contém a lista de paragens para cada veículo especificado na folha “Veículos” e utiliza a informação da folha “Localização” sobre tempos de serviço e quantidades de entrega/recolha, bem como a distância e duração na folha “Distâncias” para definir os tempos de partida e chegada. Ainda nesta folha é calculado o lucro de cada viagem. Esta folha contém uma série de recursos de formatação condicional projetados para identificar visualmente soluções inviáveis e facilitar a construção manual de soluções. Por exemplo, um veículo que excede a sua capacidade máxima ou limite de distância, ou é visitado fora da sua janela de tempo aparece a vermelho.
- ♦ **Visualização:** As localizações e as rotas dos veículos podem ser visualmente inspeccionadas gerando esta folha de cálculo opcional. Aqui também se inclui o comando para ativar o solver, bem como a opção de recorrer a um verificador de viabilidade para soluções e um solucionador externo que utilizadores avançados podem desenvolver e compilar num arquivo *Dynamiclly Linked Library* (DLL).

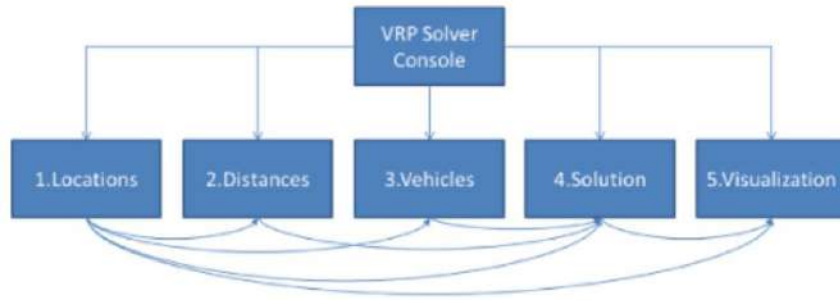


Figura 8 - Estrutura das folhas de cálculo do VRP Spreadsheet Solver. Retirado de Erdoğan (2017)

3. Descrição e análise crítica da situação atual

Neste capítulo será apresentada a empresa onde foi desenvolvido o trabalho, assim como uma análise crítica da situação atual da mesma, através da recolha de dados e análise dos processos de distribuição da empresa.

3.1. Apresentação da organização

A Inoxtubo, S.A. deu início à sua atividade comercial em 1996, sediada em Guimarães, contando inicialmente com 4 sócios que pretendiam tirar proveito dos seus elevados conhecimentos do mercado nacional.

A empresa preocupava-se numa primeira fase apenas com a distribuição de materiais de construção, tendo em 1999 introduzido produtos de uma nova área no seu portfólio, a climatização. Já em 2007, acompanhando o desenvolvimento do mercado, decide apostar na sustentabilidade, criando a marca HENQ para disponibilizar aos clientes inúmeras soluções na área da reutilização energética proveniente de recursos naturais.

A atividade da organização foi-se alterando ao longo do tempo, sendo atualmente especializada na distribuição de produtos e equipamentos para a construção, com especial incidência nos seguintes segmentos: redes e infraestruturas de distribuição de água e gás, artigos sanitários, produtos para a climatização (aquecimento e refrigeração) e energias renováveis. Dado o aumento de volume de vendas e de produtos transacionados, a organização sentiu a necessidade de expansão, contando hoje com armazéns também em Chaves, Vila Real, Montijo e Vila Nova de Gaia.

O crescimento e desenvolvimento da organização abriu portas ao mercado internacional, recorrendo a inúmeros fornecedores de países como a Itália, Inglaterra, Espanha, Canadá e países de Leste Europeu. Através desta rede de fornecedores a organização pôde contar com produtos e serviços diversificados e tecnologicamente desenvolvidos, fator fulcral para o seu sucesso.

Como forma de assinalar os seus 25 anos, a organização decidiu renovar e modernizar a sua imagem/logo (Figura 9).



Figura 9 – Logotipo Inoxtubo, S.A.

3.2. Principais produtos comercializados

Os diferentes produtos comercializados pela organização dividem-se em várias categorias: Climatização, Energias Renováveis, Tubagens e Sistemas, Sanitários e Utensílios.

1) Climatização

- ◆ Ar condicionado e ventilação;
- ◆ Bombas de calor;
- ◆ Caldeiras a gás;
- ◆ Caldeiras a gasóleo;
- ◆ Biomassa;
- ◆ Radiadores e toalheiros;
- ◆ Pavimento Radiante;
- ◆ Ventilconvectores;
- ◆ Esquentadores a gás;
- ◆ Termoacumuladores elétricos;
- ◆ Bombas circuladoras;
- ◆ Termostatos de regulação;

Alguns dos produtos comercializados referentes à área da climatização podem ser observados na Figura 10.



Figura 10 - Produtos comercializados pela Inoxtubo, S.A.

2) Energias Renováveis:

- ◆ Painéis solares térmicos; (Autoconsumo)
 - Sistemas compactos de termossifão
 - Sistemas de circulação forçada
- ◆ Painéis solares fotovoltaicos. (Produção de energia)

O sol é uma fonte inesgotável de energia, pelo que a sua reutilização é fundamental para a produção de água quente sanitárias em todas as habitações. Os sistemas solares térmicos de alta eficiência permitem, devido à captação de energia do sol, a produção de aquecimento de águas para utilização doméstica, com capacidade de integração com bombas de calor de águas quentes sanitárias (AQS), esquentadores e caldeiras de condensação. Estes sistemas solares térmicos podem dividir-se em sistemas compactos de termossifão ou sistemas de circulação forçada:

- ♦ **Sistema compacto (termossifão):** O sistema compacto de termossifão (Figura 11) é uma solução de fácil e simples instalação com reduzida necessidade de espaço. Recorrendo à transformação de energia do sol em energia para produção económica de AQS, o sistema de termossifão tem baixos custos de manutenção preventiva e uma significativa redução da fatura eléctrica na respetiva produção. O depósito acumulador é aplicado em conjunto com o coletor, não necessitando de espaço no interior para a colocação de equipamentos, funcionando em circulação natural do fluído térmico sem recurso a componentes como alimentação eléctrica.



Figura 11 - Sistema compacto de Termossifão

- ♦ **Sistema circulação forçada:** O sistema de circulação forçada (Figura 12) é composto por coletores solares, depósitos acumuladores, grupo de circulação e central de gestão e controlo. Este sistema configura-se como solução ideal para instalações individuais e coletivas (habitações unifamiliares, edifícios coletivos, de serviço e industriais). A elevada eficiência com reduzida taxa de perdas térmicas, no depósito acumulador de AQS (instalado no interior), permite uma redução da fatura mensal de energia eléctrica de 75%, na produção de AQS. O reduzido impacto estético no exterior dos edifícios resulta numa elevada versatilidade e ampla aplicabilidade deste modelo de sistema solar.



Figura 12 - Sistema de Circulação Forçada

3) Tubagens e sistemas

- ♦ **Tubo Corrugado** – passagem de cabos de telecomunicações e eletricidade.
- ♦ **Tubo Drenagem** – drenagem superficial e subterrânea de construções civis (drenagem de muros de contenção, vias de comunicação, redes ferroviárias, canais, entre outros), áreas desportivas e drenagem agrícola.
- ♦ **Tubo PEAD** - Tubo de Polietileno de Alta Densidade, é aplicado essencialmente em condutas subterrâneas para abastecimento de água, gás e saneamento com pressão.
- ♦ **Tubo Gris** - Tubo isolante para canalizações elétricas.
- ♦ **Tubo Ambidur e acessórios** - destinam-se a sistemas de saneamento, drenagem e cablagem. São fabricados em Polipropileno e apresentam uma dupla parede, corrugada no exterior e lisa no seu interior.
- ♦ **Tubo Galvanizado e acessórios** – auxílio na supressão no combate a incêndios em infraestruturas residenciais, comerciais, recintos desportivos, culturais e de ensino.
- ♦ **Tubo PVC e acessórios** - para drenagem de águas residuais domésticas (temperatura baixa e elevada), escoamento de águas pluviais e condutas de ventilação, no interior da estrutura de edifícios.

- ◆ **Tubo de Cobre e acessórios** – para refrigeração, utilizado principalmente como condutor para o transporte de gases em equipamentos de refrigeração, unidades de refrigeração e ar condicionado.
- ◆ **Tubo PP-R e acessórios** - Água Quente Sanitária (AQS): Redes Prediais de distribuição de água quente e fria em PP-R. Aquecimento Termo Hidráulico: Piso Radiante e Radiadores de alta Temperatura. Uso Geral: transporte de água em geral, utilização residencial, comercial, industrial e edifícios Públicos
- ◆ **Tubo Inox e acessórios** – Exaustão (Recuperadores de calor e salamandras)
- ◆ **Tubo alumínio** – Exaustão (Caldeiras e Esquentadores)
- ◆ **Válvulas** - abastecimento de água e águas residuais.
- ◆ **Tampas e grelhas** – saneamento, drenagem.
- ◆ **Isolamento**
- ◆ **Material aspiração**
- ◆ **Material rega**
- ◆ **Material fixação**
- ◆ **Bombas submersíveis**

Os tipos de tubo comercializados podem ser observados na Figura 13 e os respetivos acessórios na Figura 14.

| OS NOSSOS produtos | | | | |
|--------------------|---|--|--|---|
| |  |  |  |  |
| | ÁGUA | SANEAMENTO | EDIFÍCIOS | CABLAGEM/DRENAGEM |
| # Tipologia | # Adução # Rega # Distribuição | # Doméstico # Industrial # Pluvial | # Domésticos | # Telecomunicações # Eléctrica |
| Produto | Polihidro (PEAD) Hidropress (PVC) Biomundial (PVC) Hidracol (PVC) | Ambidur (PP) Sanicol (PVC) Polihidro (PEAD) Coldur (PP) Cx Ramal Cx Visita (PP) | Polidom (PVC) Polidur (PVC) Poliuni (PVC) | Ambicabos (PEAD) # Pluvial Ambidrenos (PEAD) |

Figura 13 - Tipos de Tubagens



Figura 14 - Acessórios PP-R e de Redes de Incêndio

4) Sanitários

- ♦ Sanitas
- ♦ Lavatórios
- ♦ Bidés
- ♦ Banheiras
- ♦ Bases de duche
- ♦ Lava-louças
- ♦ Torneiras

5) **Utensílios:** Todas as ferramentas e utensílios para instalações e aplicações de tubagens e acessórios em infraestruturas e edificações, desde:

- ♦ Corte e perfuração
- ♦ Curvadores
- ♦ Roscagem
- ♦ Ranhuragem
- ♦ Instrumentos de pressão
- ♦ Detecção e inspeção
- ♦ Limpeza de tubagens

3.3. Infraestruturas e processos

A organização conta atualmente com 2 estaleiros e 2 armazéns como demonstrado na Figura 15 - Infraestruturas Inoxtubo, S.A. O armazém (A) destina-se a artigos de maior volume, grande parte deles apenas possíveis de transportar com recurso a empilhadores. O edifício (B) está dividido em três partes distintas, o escritório, o atendimento ao público e o armazém. Os estaleiros (C e D) estão maioritariamente ocupados pelo artigo mais comercializado pela empresa e que não precisa de armazenamento cuidadoso, o tubo.

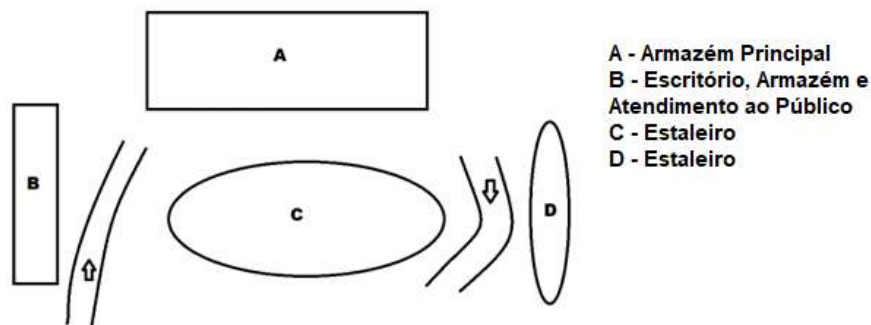


Figura 15 - Infraestruturas Inoxtubo, S.A.

3.3.1. Armazém Principal (A)

Com um comprimento de 105m por uma largura de 18m, o Armazém A conta com uma área útil de 1890m². Para uma maior eficiência do uso da área disponível foi dividido em três corredores através de 4 grupos de estantes (dois deles encostados às paredes) que acompanham praticamente todo o seu comprimento. Estas estantes contam com 4 níveis de altura de 1,5m cada um, facto apenas possível pela altura do armazém ser de 8m aproximadamente (Figura 16).



Figura 16 - Armazém Principal (A)

Receção de Mercadorias

A receção e armazenagem de mercadorias neste armazém funciona de forma muito simples. Numa primeira fase, os colaboradores descarregam a viatura e colocam todos os produtos numa área predefinida na entrada do armazém. De seguida, verificam se a encomenda está completa através da guia de encomenda. Para terminar, levam os produtos desta área para os respetivos lugares no armazém.

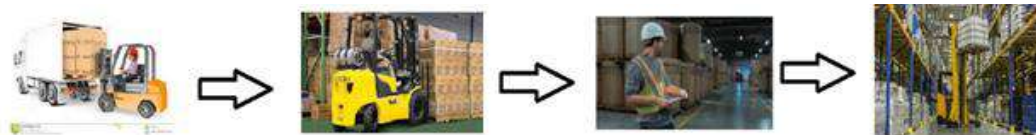


Figura 17 - Receção de Mercadorias

Para uma maior facilidade de quantificação e análise de tempos da receção de mercadorias e de forma a excluir fatores ambíguos recorreu-se ao valor média que cada artigo demora a ser armazenado, determinado por técnica de cronometragem, tendo como pressupostos:

- ♦ O colaborador coloca os produtos sempre a meio do armazém.
- ♦ O colaborador utiliza a total extensão da empilhadora sempre que a utiliza.
- ♦ As viaturas são descarregadas sempre no mesmo local.
- ♦ O colaborador está com o empilhador no local indicado na hora de começar a descarga.

Assim sendo, foram escolhidos os 10 artigos mais comercializados pela organização como base da amostra, obtendo-se uma amostra de dimensão 10 (Tabela 3), onde se pode observar que um colaborador demora em média 67 segundos para armazenar um artigo. Estes 67 segundos começam pelo erguer do empilhador que demora 5 segundos, seguido do pegar no artigo que demora outros 5 segundos. Do camião à entrada do armazém o colaborador demora cerca de 7 segundos, local onde volta a baixar o empilhador demorando mais 5 segundos. De seguida, o artigo é verificado, processo que leva cerca de 4 segundos por artigo. Após verificação, o empilhador volta a pegar no artigo (5 segundos), transportando-o até o local definido (31 segundos referentes a 40 metros de distância) demorando cerca de 5 segundos a descarregar. Importa ainda referir que se regista um desvio-padrão de 8,42615.

Tabela 3 - Temporização da Receção de Mercadorias

| | Subir empilhador | Pegar no artigo | Camião até entrada | Baixar o empilhador | Verificar a encomenda | Pegar artigo | Transporte | Descarregar | |
|-----------|------------------|-----------------|--------------------|---------------------|-----------------------|--------------|------------|-------------|----|
| Artigo 1 | 5 | 6 | 7 | 5 | 6 | 7 | 41 | 7 | |
| Artigo 2 | 5 | 4 | 8 | 5 | 3 | 3 | 24 | 7 | |
| Artigo 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 2 | 5 | 28 | 5 | |
| Artigo 4 | 5 | 7 | 9 | 5 | 5 | 6 | 35 | 3 | |
| Artigo 5 | 5 | 4 | 6 | 5 | 2 | 6 | 30 | 4 | |
| Artigo 6 | 5 | 4 | 7 | 5 | 6 | 4 | 33 | 2 | |
| Artigo 7 | 5 | 5 | 10 | 5 | 5 | 5 | 37 | 5 | |
| Artigo 8 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 27 | 6 | |
| Artigo 9 | 5 | 6 | 6 | 5 | 5 | 8 | 27 | 6 | |
| Artigo 10 | 5 | 4 | 7 | 5 | 2 | 2 | 28 | 5 | |
| Média | 5 | 5 | 7 | 5 | 4 | 5 | 31 | 5 | 67 |

Expedição de Mercadorias

A expedição de mercadorias começa pela análise das notas de encomenda por parte dos colaboradores. Após esta análise o colaborador vai buscar os produtos pela ordem que achar mais eficaz e pouca na entrada do armazém, divididos por viaturas. Quando todos os produtos que serão expedidos estão no local indicado procede-se à identificação do cliente a que se destinam com recurso apenas a um marcador ou caneta. Por fim, quando chegam as viaturas a ser carregadas, o colaborador leva os produtos da entrada do armazém diretamente para o reboque. Este processo pode ser observado na Figura 18.



Figura 18 - Expedição de Mercadorias

Na expedição de mercadorias é de igual forma importante tomar os pressupostos apresentados anteriormente para justificação dos dados obtidos em termos de análise de tempos de expedição, utilizando a técnica de cronometragem.

Após a análise de 10 artigos diferentes a serem carregados (Tabela 4), observa-se que na expedição de mercadorias um colaborador demora cerca de 71 segundos a levar o artigo desde o armazém até à viatura. Começa por levantar o empilhador e pegar na peça demorando 10 segundos seguido do seu transporte até à entrada do armazém que leva mais 31 segundos e 5 segundos para baixar o empilhador. De seguida, identifica cada um dos produtos demorando cerca de 6 segundos em cada. Por fim, pega no produto e levanta o empilhador (7 segundos), transporta até à viatura (7 segundos) e deixa o produto (5 segundos). Importa referir que se registou um desvio-padrão de 6,826.

Tabela 4 - Temporização da Expedição de Mercadorias

| | Subir empilhador | Pegar no artigo | Levar até á entrada | Baixar empilhador | Identificar produtos | Pegar artigo | Levantar empilhador | Transporte até ao camião | Descarregar artigo | |
|-----------|------------------|-----------------|---------------------|-------------------|----------------------|--------------|---------------------|--------------------------|--------------------|----|
| Artigo 1 | 5 | 7 | 40 | 5 | 7 | 2 | 5 | 7 | 7 | |
| Artigo 2 | 5 | 8 | 24 | 5 | 8 | 2 | 5 | 9 | 5 | |
| Artigo 3 | 5 | 7 | 28 | 5 | 8 | 3 | 5 | 11 | 3 | |
| Artigo 4 | 5 | 3 | 36 | 5 | 3 | 3 | 5 | 5 | 8 | |
| Artigo 5 | 5 | 3 | 37 | 5 | 5 | 1 | 5 | 4 | 4 | |
| Artigo 6 | 5 | 3 | 26 | 5 | 4 | 1 | 5 | 6 | 4 | |
| Artigo 7 | 5 | 5 | 25 | 5 | 7 | 2 | 5 | 8 | 5 | |
| Artigo 8 | 5 | 5 | 31 | 5 | 5 | 2 | 5 | 9 | 3 | |
| Artigo 9 | 5 | 6 | 35 | 5 | 9 | 1 | 5 | 5 | 6 | |
| Artigo 10 | 5 | 3 | 28 | 5 | 4 | 3 | 5 | 6 | 5 | |
| Média | 5 | 5 | 31 | 5 | 6 | 2 | 5 | 7 | 5 | 71 |

3.3.2. Edifício do escritório, armazém e atendimento ao público (B)

Sendo que o edifício B está dividido em três frações (escritório, armazém e atendimento ao público) é de todo importante efetuar uma análise da Logística do mesmo. Dividido em dois pisos, o edifício conta com uma área útil de 1688m², estando o armazém e o atendimento ao público situados no piso inferior e o escritório no piso superior.

Atendimento ao Público

O atendimento ao público funciona de forma muito simples, o cliente dirige-se ao colaborador da “caixa” para fazer o seu pedido o qual é imediatamente verificado em termos de *stock* pelo colaborador no sistema informático. Se disponível em *stock*, o mesmo colaborador dirige-se ao armazém para recolher os produtos e volta ao “caixa” onde os entrega ao cliente. Por fim, é emitida uma fatura e o cliente procede ao pagamento. Importa salientar que a organização conta com 3 caixas, todas estas com colaboradores nas horas de maior afluência (Figura 19).



Atendimento ao Público



Armazém B

Figura 19 - Edifício B

Após a observação e cronometragem de um colaborador no atendimento de 10 clientes, possíveis de se verificar na Tabela 5, observa-se que um cliente demora em média cerca de 30 segundos a fazer o seu pedido ao balcão e o colaborador cerca de 27 segundos a verificar a disponibilidade de *stock* no sistema informático. Entre ir do balcão ao armazém, recolher os produtos e voltar ao colaborador da “caixa”, o colaborador demora aproximadamente 4 minutos (240 segundos). A fatura é emitida em 45 segundos e o pagamento efetuado em cerca de 27 segundos. Pode observar-se que em média o atendimento ao público demora 369 segundos (6 minutos e 9 segundos).

Tabela 5 - Temporização Atendimento ao Público

| | Pedido do cliente | Verificar disponibilidade | Recolha dos produtos | Emitir fatura | Pagamento | |
|-----------|-------------------|---------------------------|----------------------|---------------|-----------|-----|
| Pedido 1 | 40 | 28 | 262 | 67 | 30 | |
| Pedido 2 | 44 | 33 | 256 | 63 | 37 | |
| Pedido 3 | 15 | 35 | 202 | 45 | 21 | |
| Pedido 4 | 25 | 21 | 243 | 55 | 24 | |
| Pedido 5 | 33 | 22 | 140 | 32 | 27 | |
| Pedido 6 | 35 | 24 | 337 | 25 | 22 | |
| Pedido 7 | 22 | 28 | 225 | 47 | 25 | |
| Pedido 8 | 24 | 22 | 235 | 49 | 21 | |
| Pedido 9 | 30 | 27 | 259 | 29 | 35 | |
| Pedido 10 | 32 | 30 | 241 | 38 | 28 | |
| Média | 30 | 27 | 240 | 45 | 27 | 369 |

3.3.3. Estaleiros (C e D)

Nos estaleiros (Figura 20) o único material armazenado são os tubos. Tendo em conta que em ambos os estaleiros o local de carga e descarga se encontra a uma distância similar, a análise do tempo de carga e descarga coincidirá. Nos estaleiros o processo passa apenas pelo manuseamento do empilhador que consiste em pegar nos tubos do camião e colocar no estaleiro ou vice-versa.



Figura 20 - Estaleiros

Após a análise de 10 tipos diferentes de tubo a serem movidos, observou-se que o tempo que um empilhador demora do local de carga até ao estaleiro são 12 segundos. O que poderá variar aqui será o tempo que será despendido a alcançar o tubo pretendido visto que por vezes é necessário mover outros anteriormente. Após análise verificou-se que em média demora cerca de 44 segundos a alcançar o tubo, incluindo o subir e descer do empilhador. Assim sendo, o tempo de carga e descarga de um produto no estaleiro será de cerca de 66 segundos tal como se pode verificar na Tabela 6.

Tabela 6 - Temporização de carga e descarga no estaleiro

| | Local de carga ao estaleiro | Pegar no tubo | |
|------------|-----------------------------|---------------|----|
| Amostra 1 | 12 | 35 | |
| Amostra 2 | 12 | 40 | |
| Amostra 3 | 12 | 36 | |
| Amostra 4 | 12 | 45 | |
| Amostra 5 | 12 | 32 | |
| Amostra 6 | 12 | 39 | |
| Amostra 7 | 12 | 75 | |
| Amostra 8 | 12 | 78 | |
| Amostra 9 | 12 | 25 | |
| Amostra 10 | 12 | 44 | |
| Média | 12 | 35 | |
| | 12 | 44 | 66 |

3.4. Caracterização da Frota

A frota da organização é constituída por diferentes tipos de viaturas (Figura 21). A organização conta com 20 viaturas das quais 15 são consideradas ligeiras e 5 pesadas. Das 15 viaturas ligeiras, 6 são carrinhas comerciais destinadas à utilização por parte dos vendedores/comerciais, 6 são carros pessoais e 3 são carrinhas de transporte de mercadorias. Das 5 viaturas pesadas, 2 são tratores com atrelado (camiões TIR), ambos com as mesmas dimensões, 13,02m de comprimento, 2,8m de altura e 2,45m de largura, o que perfaz um volume útil de 90m³. Sendo a sua tara de 7110kg e a sua carga útil de 28890kg, obtém-se um peso bruto de 36000kg. Outro veículo pesado é um camião-furgão com 7 metros de comprimento, 2 metros de largura e 1,8 de altura que resultam numa área útil de 25,2m³. Estes furgões apresentam uma tara de 7465kg e uma carga útil de 7535kg, originando um peso bruto de 15000kg. Os últimos 2 veículos pesados, os quais foram utilizados no estudo de caso são duas carrinhas com carroçaria em lona com um volume de carga determinado por 4,7m de comprimento, 1,9m de largura e 2,3m de altura e com uma carga útil correspondente a 1314 Kg. Estes foram os veículos escolhidos para o caso de estudo pois são os únicos que visitam um grande número de clientes diariamente.

Importa ainda referir os veículos para movimentação dentro da empresa, ainda que não possam ser considerados como “frota”. Para este efeito, a organização conta com 2 empilhadores movidos a combustível e 2 elétricos, estes últimos destinados apenas à circulação dentro dos armazéns onde não é permitido o uso de combustíveis. Existem ainda inúmeros carrinhos de mão e porta-paletes.



Figura 21 – Frota e veículos de movimentação Inoxtubo, S.A.

Para o estudo de caso foi necessário o cálculo do gasto médio dos veículos da amostra por quilómetro. Para este efeito, após consultar um colaborador da organização, foi considerada uma velocidade média de 60 Km/h e um consumo médio equivalente de

10,5l/100Km. Após analisar o número de quilómetros totais percorridos pelos veículos da amostra nos meses das semanas em questão, foi possível apurar o gasto médio em gasóleo por quilómetro. Através dos gastos totais em portagens dos veículos da amostra nos meses das semanas em questão foi possível calcular o gasto médio por quilómetro em portagens. Somando o preço por quilómetro de gasóleo e de portagens nos meses em questão e calculando a média, obteve-se um preço médio por quilómetro de 0,23€.

Tabela 7 - Cálculo preço médio por quilómetro

| GASÓLEO | 2023 | Preço Médio Gasóleo | Consumo médio | Kilómetros | Preço/kilómetro gasóleo | Via Verde | Preço/kilómetro via verde | Preço/kilómetro total |
|---------|----------|---------------------|---------------|------------|-------------------------|-----------|---------------------------|-----------------------|
| jan/23 | 438,67 € | 1,62 € | 10,5L/100Km | 2582,0825 | 0,17 € | 39,8 | 0,09 € | 0,26 € |
| fev/23 | 426,24 € | 1,57 € | 10,5L/100Km | 2593,8841 | 0,16 € | 40,2 | 0,09 € | 0,26 € |
| mar/23 | 320,91 € | 1,53 € | 10,5L/100Km | 1994,9646 | 0,16 € | 13,55 | 0,04 € | 0,20 € |
| abr/23 | 343,74 € | 1,48 € | 10,5L/100Km | 2207,4945 | 0,16 € | 17,43 | 0,05 € | 0,21 € |
| | | | | | | | | 0,23 € |

3.5. Análise da procura

Para melhor compreender o sistema de distribuição da organização foram analisadas quatro semanas distintas, seleccionadas de forma aleatória. Três destas semanas faziam parte do histórico da empresa (obtidas através de guias de transporte) e para as quais não existiu um registo do plano de distribuição efetivamente realizado, e uma semana recolhida e analisada em chão de armazém. De seguida serão apresentados os dados recolhidos relativos às diferentes semanas. Por uma questão de confidencialidade os clientes serão identificados para cada semana com um número sequencial de 1 a n , onde n representa o número máximo de clientes servidos na respetiva semana e o 0 representa a Sede, a partir da qual é realizada a distribuição. Importa referir que nas semanas em questão os clientes raramente se repetem, tendo-se optado por uma análise distinta de cada Semana, sendo assim, o Cliente 1 da Semana 1 não é necessariamente o Cliente 1 das outras Semanas.

3.5.1. Semana 1

A Semana 1 é constituída por 28 clientes, todos estes servidos pelos veículos escolhidos para o estudo em questão. Tendo em conta que a procura em termos de peso é essencial para o estudo em questão foi necessário o cálculo das mesmas. Para a obtenção destes dados foi necessário analisar as guias de transporte semanais dos veículos ao pormenor e pedir aos colaboradores informações de peso de variados produtos, dado o vasto leque de produtos comercializados pela organização. Após reunir toda a informação, foi

possível obter um valor aproximado da procura de cada cliente em termos de peso. Na Figura 22 é possível perceber a procura individual dos 28 clientes satisfeitos na Semana 1 pelos veículos em questão.

| Cliente | Procura (Kg) |
|---------|--------------|
| 1 | 45 |
| 2 | 268 |
| 3 | 114 |
| 4 | 25 |
| 5 | 251,4 |
| 6 | 11,2 |
| 7 | 382,8 |
| 8 | 50 |
| 9 | 1295,4 |
| 10 | 10 |
| 11 | 150,5 |
| 12 | 11 |
| 13 | 50 |
| 14 | 70 |
| 15 | 222,5 |
| 16 | 34 |
| 17 | 80 |
| 18 | 389,4 |
| 19 | 135,4 |
| 20 | 1188,1 |
| 21 | 765,5 |
| 22 | 50 |
| 23 | 280,6 |
| 24 | 337 |
| 25 | 167,2 |
| 26 | 30 |
| 27 | 60 |
| 28 | 39 |

Figura 22 - Procura Semana 1

Para perceber quais os clientes que têm uma maior percentagem de vendas na Semana 1 foi efetuada uma análise ABC. Esta análise (Figura 23) demonstra que 36% dos clientes da empresa dessa semana representaram 80% do volume de negócios semanal. Pode observar-se também que os clientes B, que representam 15% do volume de vendas semanal são 8, ou seja, 28% do número total de clientes. Por fim, cerca de 36% dos clientes, os clientes C, representam apenas 5% do volume de vendas semanal.

| Cliente | % de vendas | Soma % Vendas | Classificação |
|-------------|-------------|---------------|---------------|
| 6 | 16,59639835 | 16,59639835 | A |
| 8 | 10,8650047 | 27,46140305 | A |
| 5 | 10,55423414 | 38,01563719 | A |
| 11 | 9,724380935 | 47,74001813 | A |
| 22 | 6,949491076 | 54,6895092 | A |
| 9 | 6,606602156 | 61,29611136 | A |
| 24 | 5,513765257 | 66,80987662 | A |
| 21 | 5,3570766 | 72,16695322 | A |
| 19 | 4,784860458 | 76,95181367 | A |
| 28 | 3,291526917 | 80,24334059 | A |
| 17 | 3,166704349 | 83,41004494 | B |
| 13 | 2,952677755 | 86,3627227 | B |
| 14 | 2,214509192 | 88,57723189 | B |
| 23 | 2,056317451 | 90,63354934 | B |
| 18 | 1,413477369 | 92,04702671 | B |
| 20 | 1,390324965 | 93,43735167 | B |
| 7 | 1,385798194 | 94,82314987 | B |
| 25 | 1,231222264 | 96,05437213 | B |
| 1 | 1,143559864 | 97,19793199 | C |
| 2 | 0,762613829 | 97,96054582 | C |
| 15 | 0,649819439 | 98,61036526 | C |
| 3 | 0,353613725 | 98,96397899 | C |
| 26 | 0,304386837 | 99,26836582 | C |
| 27 | 0,18311351 | 99,45147933 | C |
| 16 | 0,180117852 | 99,63159719 | C |
| 10 | 0,176347879 | 99,80794507 | C |
| 4 | 0,176274301 | 99,98421937 | C |
| 12 | 0,015780633 | 100 | C |
| 28 clientes | 100% | | |

Figura 23 - Análise ABC Semana 1

3.5.2. Semana 2

Na Semana 2 foram servidos 29 clientes pelos veículos utilizados. A procura de cada cliente em termos de peso foi calculada pelo mesmo método em todas as semanas, ou seja, tal como na Semana 1 foram analisadas as várias guias de transporte e pedidas informações aos colaboradores sobre o peso dos produtos. Na Figura 24 podem ser observadas as procuras individuais dos 29 clientes da Semana 2.

| Cliente | Procura (Kg) |
|---------|--------------|
| 1 | 290 |
| 2 | 225 |
| 3 | 133,6 |
| 4 | 100 |
| 5 | 80 |
| 6 | 60 |
| 7 | 86,6 |
| 8 | 75 |
| 9 | 100 |
| 10 | 44 |
| 11 | 212,4 |
| 12 | 47,8 |
| 13 | 65 |
| 14 | 131,5 |
| 15 | 25 |
| 16 | 96 |
| 17 | 338 |
| 18 | 191,3 |
| 19 | 204,4 |
| 20 | 84,4 |
| 21 | 366 |
| 22 | 345,5 |
| 23 | 130 |
| 24 | 130 |
| 25 | 50 |
| 26 | 1300 |
| 27 | 390 |
| 28 | 260 |
| 29 | 190 |

Figura 24 - Procura Semana 2

Na segunda semana, através da análise ABC (Figura 25), pode observar-se que 28% dos clientes representam 80% das vendas semanais. Os clientes B são 31% e representam 15% das vendas totais semanais. Já os clientes C apenas representam 5% das vendas e são a maioria, neste caso 41%.

| Cliente | % Vendas | Acumulado % | Classificação |
|-------------|-------------|-------------|---------------|
| 20 | 13,19018218 | 13,19018218 | A |
| 17 | 12,78993455 | 25,98011673 | A |
| 4 | 10,26323733 | 36,24335406 | A |
| 29 | 9,317900235 | 45,56125429 | A |
| 16 | 9,020542781 | 54,58179708 | A |
| 15 | 7,146469359 | 61,72826643 | A |
| 18 | 6,495429994 | 68,22369643 | A |
| 22 | 6,122004792 | 74,34570122 | A |
| 9 | 2,996254682 | 77,3419559 | A |
| 7 | 2,807781322 | 80,14973722 | A |
| 13 | 2,431164677 | 82,5809019 | B |
| 8 | 2,247191011 | 84,82809291 | B |
| 27 | 2,138259437 | 86,96635235 | B |
| 28 | 1,932847914 | 88,89920026 | B |
| 2 | 1,642671207 | 90,54187147 | B |
| 12 | 1,525427067 | 92,06729853 | B |
| 19 | 1,140816759 | 93,20811529 | B |
| 10 | 1,123595506 | 94,3317108 | B |
| 23 | 0,894085831 | 95,22579663 | B |
| 24 | 0,888286287 | 96,11408292 | C |
| 11 | 0,764847435 | 96,87893035 | C |
| 25 | 0,707619739 | 97,58655009 | C |
| 21 | 0,70172987 | 98,28827996 | C |
| 14 | 0,660553479 | 98,94883344 | C |
| 6 | 0,529004296 | 99,47783774 | C |
| 1 | 0,189469361 | 99,6673071 | C |
| 26 | 0,158066764 | 99,82537386 | C |
| 5 | 0,135369129 | 99,96074299 | C |
| 3 | 0,03925701 | 100 | C |
| 28 clientes | 100% | | |

Figura 25 - Análise ABC Semana 2

3.5.3. Semana 3

Na Semana 3 foram satisfeitos 13 clientes. Na Figura 26 podem ser observadas as procuras de cada cliente.

| Cliente | Procura (Kg) |
|---------|--------------|
| 1 | 137 |
| 2 | 85 |
| 3 | 49,5 |
| 4 | 115 |
| 5 | 399 |
| 6 | 150 |
| 7 | 1150 |
| 8 | 173 |
| 9 | 203 |
| 10 | 959 |
| 11 | 425 |
| 12 | 240 |
| 13 | 80 |

Figura 26 - Procura Semana 3

Na terceira semana, pela análise ABC (Figura 27), verifica-se que 54% dos clientes representam 80% do volume de vendas. Os clientes B e C são apenas 3 de cada (46%), representando 15% e 5% do volume de vendas respetivamente.

| Cliente | % Vendas | Acumulado % | Classificação |
|-------------|-------------|-------------|---------------|
| 13 | 21,83266207 | 21,83266207 | A |
| 3 | 18,57308959 | 40,40575166 | A |
| 6 | 9,529914677 | 49,93566633 | A |
| 5 | 9,353040134 | 59,28870647 | A |
| 7 | 8,944732731 | 68,2334392 | A |
| 1 | 6,192368952 | 74,42580815 | A |
| 8 | 5,337226639 | 79,76303479 | A |
| 12 | 5,258947315 | 85,0219821 | B |
| 10 | 4,458784176 | 89,48076628 | B |
| 11 | 4,380351813 | 93,86111809 | B |
| 4 | 2,721602989 | 96,58272108 | C |
| 9 | 2,241061293 | 98,82378238 | C |
| 2 | 1,176217624 | 100 | C |
| 13 clientes | 100% | | |

Figura 27 - Análise ABC Semana 3

3.5.4. Semana 4

A Semana 4 contou com um total de 17 clientes. Na Figura 28 pode observar-se a procura de cada cliente em termos de peso na semana em questão.

| Cliente | Procura (Kg) |
|---------|--------------|
| 1 | 45 |
| 2 | 50 |
| 3 | 93 |
| 4 | 200 |
| 5 | 162 |
| 6 | 350 |
| 7 | 150 |
| 8 | 140 |
| 9 | 7 |
| 10 | 1100 |
| 11 | 35 |
| 12 | 25 |
| 13 | 608 |
| 14 | 140 |
| 15 | 400 |
| 16 | 175 |
| 17 | 110 |

Figura 28 - Procura Semana 4

Na última semana, é possível observar que 29% dos clientes são do tipo A e representam 80% das vendas. Do tipo B também se registaram 29% dos clientes que representam 15% das vendas. Já do tipo C, representando 5% das vendas encontram-se 7 clientes.

| Cliente | % Vendas | Acumulado % | Classificação |
|-------------|-------------|-------------|---------------|
| 10 | 25,30563524 | 25,30563524 | A |
| 4 | 17,30609647 | 42,61173171 | A |
| 3 | 12,46161576 | 55,07334748 | A |
| 1 | 11,74519185 | 66,81853932 | A |
| 14 | 10,61470303 | 77,43324235 | A |
| 6 | 5,386786097 | 82,82002845 | B |
| 5 | 4,664239332 | 87,48426778 | B |
| 8 | 3,190329422 | 90,6745972 | B |
| 7 | 2,926563137 | 93,60116034 | B |
| 15 | 1,774694885 | 95,37585522 | B |
| 9 | 1,620583922 | 96,99643914 | C |
| 17 | 1,306773453 | 98,3032126 | C |
| 2 | 0,841458564 | 99,14467116 | C |
| 12 | 0,436086948 | 99,58075811 | C |
| 13 | 0,211137217 | 99,79189533 | C |
| 11 | 0,132587126 | 99,92448245 | C |
| 16 | 0,075517549 | 100 | C |
| 17 clientes | 100% | | |

Figura 29 - Análise ABC Semana 4

4. Apresentação e análise das propostas de melhoria em armazém e para o planeamento da distribuição

Neste capítulo serão apresentadas propostas de melhoria no processo de expedição de mercadorias e na organização do armazém. No processo de expedição de mercadorias será apresentada como proposta de melhoria uma instrução de trabalho que terá em conta uma observação prévia de todo o processo. Ainda neste ponto serão analisadas as respostas dos colaboradores a um questionário realizado com o objetivo de perceber o impacto da instrução de trabalho na organização. Na organização dos armazéns será analisada a poupança em termos de tempo e consequentemente monetária que a etiquetagem dos produtos terá na organização ao fim de um ano. Será ainda abordada a questão da definição de áreas destinadas a cada veículo para o carregamento e descarregamento de mercadorias.

O problema de distribuição apresentado é uma situação real de uma organização que se destina à distribuição de produtos e equipamentos para a construção, com especial incidência nos seguintes segmentos: redes e infraestruturas de distribuição de água e gás, artigos sanitários, produtos para a climatização (aquecimento e refrigeração) e energias renováveis, a Inoxtubo.

4.1. Processo de expedição de mercadorias

A Inoxtubo, bem como os seus colaboradores, principalmente os do nível operacional, trabalham de forma muito intuitiva e pouco formalizada, tendo como principal objetivo a conclusão da tarefa sem grandes reflexões sobre a eficácia ou eficiência do processo. Dada a vasta experiência dos colaboradores e a falta de instruções de trabalho, estes acabam por tomar as suas próprias decisões quanto a diversas situações que possam surgir, algo que deveria ser da inteira responsabilidade de níveis superiores.

Após a observação de vários colaboradores no processo de expedição de mercadorias, foi possível observar que nenhum deles o realiza da mesma forma, tendo cada um adotado o seu próprio método. Através de uma breve reunião com os níveis superiores de gestão, foi aprovada a criação de uma instrução de trabalho que tivesse em conta a eficácia e eficiência do processo, mas sem nunca esquecer as normas e regras de segurança. A instrução abaixo apresentada foi introduzida ao CEO da Inoxtubo, S.A. que sugeriu algumas alterações, já efetuadas, resultando na instrução de trabalho apresentada na Figura 30.

Expedição de Mercadorias Armazém A

Resumo

Esta instrução procura informar os colaboradores sobre os detalhes e diversas fases do processo de expedição de mercadorias no Armazém A.

| | |
|---------------------------|--------------|
| Criado por: | Luís Salgado |
| Número de Revisão: | 001 |
| Data de Revisão: | 18-Aug-2022 |
| Aprovado por: | José Carlos |



Procedimento do Responsável de Armazém

01 Imprimir e analisar as notas de encomenda das próximas cargas.

02 Identificar as notas de encomenda com a viatura que será utilizada para o transporte e distribuir as mesmas pelos colaboradores.

01

02

Procedimento dos colaboradores



03

O colaborador deve analisar as notas de encomenda a si destinadas para perceber a melhor ordem de ir buscar os produtos.

04

O colaborador pega nos produtos e deixa-os no local previamente definido e destinado à viatura no qual o mesmo seguirá.

05

Carregar a viatura pela ordem indicada pelo Responsável de Armazém.

Figura 30 - Instrução de trabalho

De forma a quantificar o benefício que a instrução poderá ter trazido para a organização, foi importante a realização de um questionário. O questionário teve como amostra 25 colaboradores, ou seja, todos os colaboradores da organização que passam diariamente pelo processo de expedição de mercadorias. Os resultados obtidos podem ser verificados no seguinte gráfico:

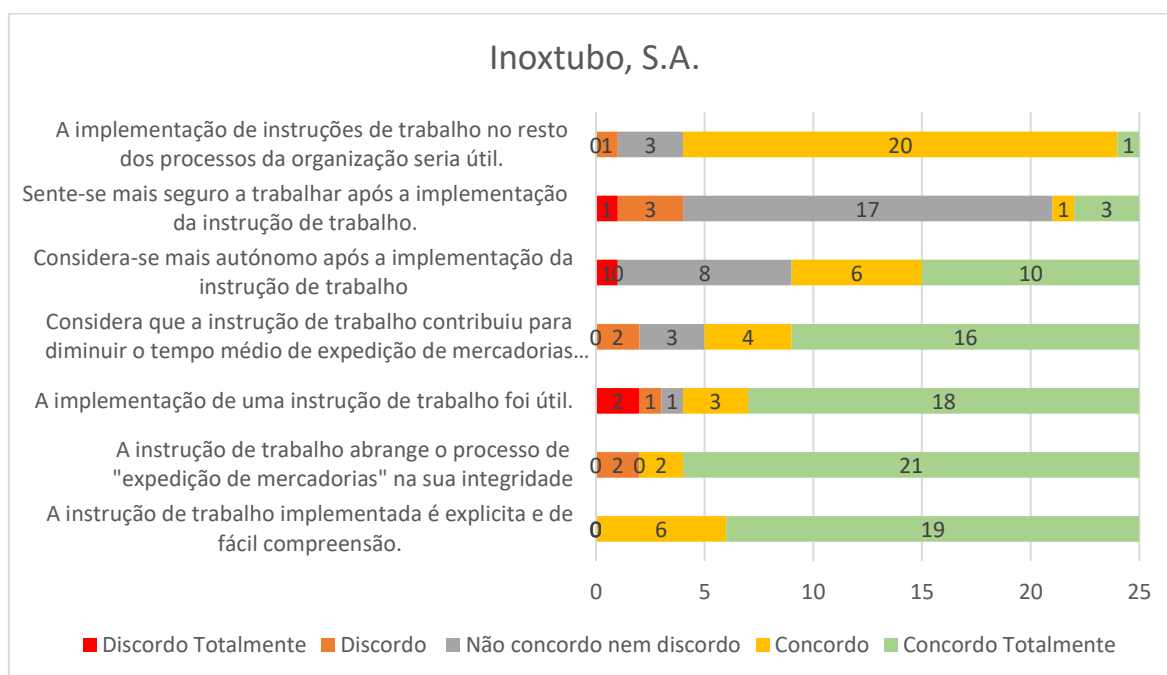


Figura 31 - Inquérito aos colaboradores

Através do inquérito realizado foi possível observar que, no geral, os colaboradores ficaram satisfeitos com a instrução de trabalho implementada. Quanto à facilidade de compreensão da instrução, 19 dos inquiridos concordam totalmente que é explícito e 6 concordam. Quando questionados se a instrução de trabalho abrange todo o processo de “expedição de mercadorias”, 21 concordam totalmente, 2 concordam e 2 discordam. A utilidade da instrução de trabalho também obteve respostas positivas, com 18 inquiridos a concordarem totalmente, 3 a concordarem, 1 não concorda nem discorda, 1 discorda e 2 discordam completamente. Quanto à diminuição do tempo médio de expedição de mercadorias, 16 concordam totalmente, 4 concordam, 3 não concordam nem discordam e 2 discordam. Verifica-se que a autonomia também aumentou após a instrução de trabalho, tendo 10 inquiridos concordado plenamente, 6 concordado, 8 não concordaram nem discordaram e 1 discordou completamente. Quanto à melhoria da segurança no trabalho, 3 concordaram totalmente, 1 concordou, 17 não concordaram nem discordaram, 3 discordaram

e 1 discordou totalmente. Quando questionados se a implementação de instruções de trabalho noutros processos seria útil, 1 concordou totalmente, 20 concordaram, 3 não concordaram nem discordaram e 1 discordou.

Pode observar-se que a implementação da instrução de trabalho, segundo os colaboradores questionados, parece ter tido um impacto positivo em termos de compreensão, utilidade, redução do tempo de execução do processo e incremento da autonomia e da segurança dos colaboradores. Importa também referir que grande parte dos colaboradores concordou com a importância de instruções de trabalho noutros processos da organização, algo que poderá ser alvo de estudo em projetos futuros.

4.2. Etiquetagem dos produtos e definição de espaços de carga

Em nenhum dos armazéns ou estaleiros da organização os produtos se encontram etiquetados, o que muitas das vezes se revela como um entrave para o bom desempenho das funções por parte dos colaboradores. Os estaleiros, e tendo em conta que a sua utilidade principal é o armazenamento de tubo, produto este fácil de identificar à distância, não necessitam estritamente dos produtos etiquetados. De forma idêntica ao estaleiros, no Armazém A, os produtos são de grande dimensão e fáceis de reconhecer ou os mais pequenos encontram-se dentro de caixas dos fornecedores e com imagens o que torna a sua identificação muita mais fácil. O problema principal está no Armazém B que serve de suporte ao atendimento ao público. Neste armazém, os produtos são geralmente de pequena dimensão e estão armazenados em caixas idênticas, tal como se pode verificar na Figura 32.

Assim sendo, de forma a reduzir o tempo de procura dos produtos por parte dos colaboradores aquando do atendimento ao público, procedeu-se à etiquetagem dos produtos neste armazém.

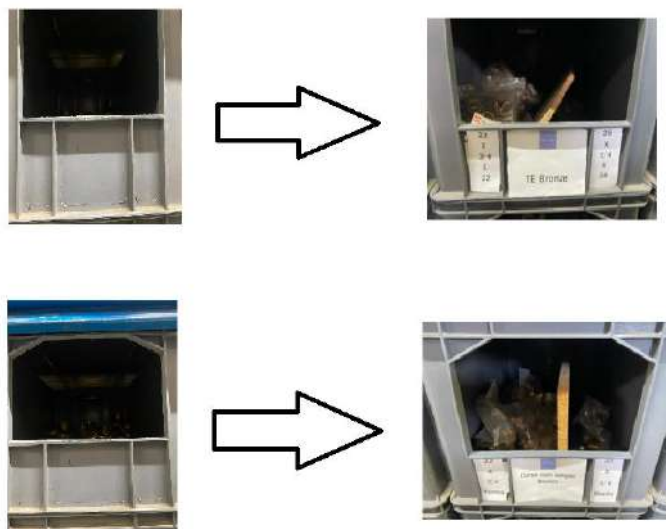


Figura 32 - Etiquetagem dos Produtos

Após a etiquetagem foi realizada uma nova análise do atendimento ao público, desta vez analisando apenas o tempo que o colaborador demora a recolher os artigos dos pedidos dos clientes. A análise foi composta por uma amostra de tamanho 10, analisando-se pedidos exatamente iguais antes e após a etiquetagem. Como se pode verificar na Tabela 8, registou-se, em média, uma redução de 38 segundos por pedido no que diz respeito ao recolher dos artigos.

Tabela 8 - Comparação antes e pós-etiquetagem

| Recolha dos produtos | | Recolha dos produtos após etiquetagem |
|----------------------|--|---------------------------------------|
| 262 | | 204 |
| 256 | | 252 |
| 202 | | 221 |
| 243 | | 202 |
| 140 | | 180 |
| 337 | | 98 |
| 225 | | 207 |
| 235 | | 187 |
| 259 | | 212 |
| 241 | | 249 |
| 240 | | 210 |
| 240 | | 202 |

Assumindo que no pior dos casos um colaborador que trabalhe no caixa da Inoxtubo auferir o salário mínimo nacional, assumir-se-á 740€ como o salário mensal. Antes de apresentar os seguintes cálculos importa realçar que os mesmos poderão traduzir apenas valores aproximados da realidade, uma vez que a análise dos tempos poderá ter sido afetada

por inúmeros fatores ambíguos tais como o dia da análise, a disposição do colaborador, o tipo e quantidade de produtos do pedido do cliente, possíveis falhas ou exceções, entre muitos outros. Para validar os resultados apresentados na Tabela 9 seria necessário efetuar um maior número de amostras e determinar o salário médio dos trabalhadores que efetivamente trabalham no atendimento ao cliente.

Tabela 9 – Custo anual médio de pedidos de atendimento

| | | |
|---|--|------------|
| Média Salarial/Mês | | 740,00 € |
| Média Salarial/Minuto | $740\text{€} / (8 \text{ horas por dia} \times 60 \text{ minutos} \times 22 \text{ dias úteis})$ | 0,070076 € |
| Custo Médio de um pedido antes da etiquetagem | $(240 \text{ segundos} / 60 \text{ segundos}) \times 0,070076\text{€}$ | 0,280303 € |
| Custo mensal dos pedidos antes da etiquetagem | $0,280303\text{€} \times 40 \text{ pedidos diários} \times 22 \text{ dias úteis}$ | 246,6667 € |
| Custo anual dos pedidos antes da etiquetagem | $246,6667\text{€} \times 12$ | 2960 € |
| Custo médio de um pedido após etiquetagem | $(202 \text{ segundos} / 60 \text{ segundos}) \times 0,070076 \text{ €}$ | 0,235922 € |
| Custo mensal dos pedidos após etiquetagem | $0,235922\text{€} \times 40 \text{ pedidos diários} \times 22 \text{ dias úteis}$ | 207,6111 € |
| Custo anual dos pedidos após etiquetagem | $207,6111\text{€} \times 12$ | 2491,333 € |
| Diferença do antes e após etiquetagem | $2960\text{€} - 2491,333\text{€}$ | 468,6667 € |

Através dos cálculos apresentados, pode concluir-se que houve uma ligeira redução de cerca de 5 cêntimos no custo médio de um pedido. Esta ligeira redução, tendo em conta que o colaborador trabalha 8 horas por dia, 12 meses por ano, que cada mês tem em média 22 dias úteis e que são satisfeitos 40 pedidos por dia, traduz-se numa redução de custos no valor de 468,67€ por ano.

Outra melhoria implementada refere-se à definição da área destinada à carga de cada veículo (Figura 33).

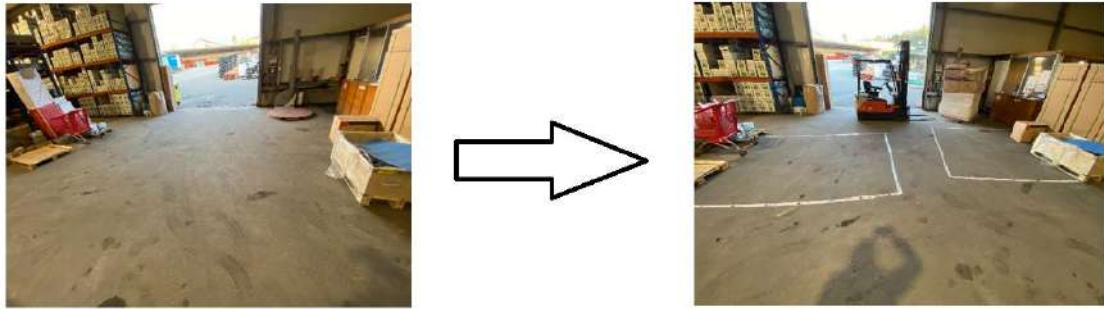


Figura 33 - Definição de espaços de carga

A área apresentada diz respeito à entrada do Armazém A e respetivamente ao local onde os produtos das próximas encomendas a sair são colocados antes de serem carregados no camião. A falta de definição das áreas correspondentes à carga de cada veículo tem trazido vários problemas à organização, ainda que muitas das vezes não se assuma ou se perceba que esta é a causa dos mesmos.

A falta de organização das cargas leva recorrentemente a que os colaboradores não tenham espaço para circular com os empilhadores e tenham de ir dar uma volta com o dobro da distância para alcançarem os produtos pretendidos. Outro problema associado a esta falta de organização é o número de erros cometidos ao carregar os camiões, dado que as cargas na entrada do armazém se misturam, fazendo com que determinados veículos carreguem produtos que não correspondem aos seus clientes. Estes erros no carregamento implicam que, caso seja possível, um dos veículos faça um desvio na sua rota para entregar o produto ou, de outro modo, o produto não será entregue na data prevista e o cliente ficará insatisfeito.

4.3. Definição do problema de distribuição

A organização conta com vários fornecedores, de vários países, para a obtenção dos produtos que comercializa. Independentemente do país ou região do fornecedor, o meio de transporte para o produto chegar às instalações próprias é por meio de subcontratações, diminuindo as hipóteses de possíveis dificuldades ou problemas de Logística. Estas dificuldades são sentidas no sentido em que a organização vende os seus produtos não só através do atendimento ao público, mas faculta também a distribuição para clientes que comprem em grande quantidade. Para esta distribuição aponta-se um grande problema normalmente denominado por “Vehicle Routing Problem”. Partindo do pressuposto que a empresa não adota qualquer estratégia no combate a estes problemas, resolvendo-os diariamente da forma que parecer mais favorável, importa assumir alguns pressupostos e definir algumas regras para ser possível criar um modelo para a resolução do problema em questão.

Importa realçar que a empresa define as rotas dos camiões para a semana toda, segundo as encomendas já recebidas, na segunda-feira de cada semana, sendo possíveis de ser alterada consoante novas encomendas, fator este que não será considerado nos modelos analisados, mas que pode ser facilmente resolvido, executando o modelo novamente para os clientes ainda não servidos até ao momento. O tempo máximo diário dos colaboradores a ter em conta serão 8 horas, posto isto, o tempo de viagem mais o tempo de descarregamento de determinada rota nunca poderão exceder esse tempo. É preciso ainda ter em atenção que veículos em análise têm de voltar sempre para à sede no fim da rota. Foram ainda definidos uma velocidade média de 60 quilómetros por hora para os veículos e um custo por quilómetro de 0,23€, tendo em conta os consumos de gasóleo e as portagens já explicados na Tabela 7.

Através de todos os dados referidos previamente será possível recorrer a vários modelos, quer exatos ou não e perceber qual poderá ser a melhor solução para o planeamento da distribuição, associado ao menor custo e à menor distância percorrida.

4.3.1. Tipo de Veículo

A organização utiliza diferentes tipos de veículos na distribuição dos seus produtos, desde camiões TIR a carrinhas comerciais. Tendo em conta que o objetivo do problema em questão é a combinação do carregamento do veículo com a definição da rota do mesmo, os camiões TIR foram excluídos de hipótese, pois estes saem da organização com apenas um destino, seja este um cliente ou uma filial. As carrinhas comerciais poderiam ser uma hipótese para o estudo em questão, no entanto os limites de volume e peso de carga tornar-se-iam um grande entrave. Deste modo, foi escolhido para o estudo em questão um veículo que diariamente sai da organização com um volume de carga necessário para satisfazer a procura dos clientes associados a um dia de distribuição. Este veículo conta com um volume de carga determinado por 4,7m de comprimento, 1,9m de largura e 2,3m de altura e com uma carga útil correspondente a 1314 Kg que é, de acordo com o histórico da empresa, ultrapassada antes do camião completar o seu volume.

Como se pode verificar na Figura 34, o veículo em questão abre tanto pela parte de trás como pela lateral, permitindo que o carregamento e o descarregamento sejam feitos de formas muito variadas, não ficando sujeito a restrições como o FIFO. Após análise dos colaboradores aquando do carregamento e descarregamento do veículo, foi possível verificar que maioritariamente utilizam apenas a parte de trás do camião para o efeito. Deste modo, a organização opta pela carga e descarga apenas pela parte de trás do veículo, recorrendo ao método do LIFO (Last In First Out) para carregar as suas mercadorias.

Importa considerar que o camião parte sempre da organização em direção aos clientes, parando apenas uma única vez em cada um, chegando ao último e retornando diretamente para as instalações da organização (sede). O principal objetivo passa assim pela satisfação de todos os clientes com o menor custo possível.



Figura 34 - Veículo utilizado no problema de distribuição

4.3.2. Tipo de Caixas

Na organização, quer seja para a expedição ou armazenamento de mercadorias, apenas são utilizados dois tipos de caixas. De forma a facilitar a sua identificação, foram divididas em dois tipos, do tipo A com 60 centímetros de largura e altura, 100 centímetros de comprimento e 20 quilogramas (cheias) e do tipo B com 80 centímetros de largura, 120 de comprimento, 90 de altura e 25 quilogramas (cheias). Importa referir que o peso de referência tem como base o peso médio dos produtos que as armazenam e que se considera que as caixas vão sempre cheias, tornando este dado um valor fixo.

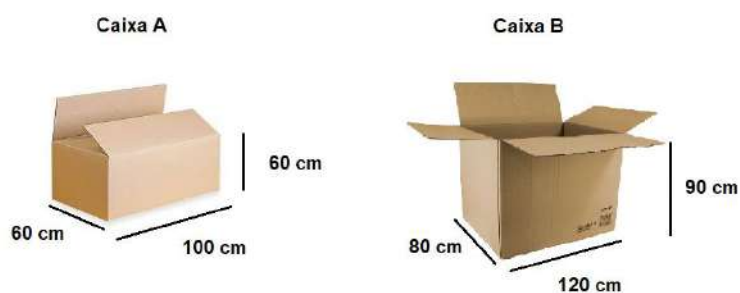


Figura 35 - Caixas utilizadas no problema de distribuição

Outra característica das caixas é o facto de as mesmas terem uma orientação a ser seguida, ou seja, a parte da abertura terá sempre de estar voltada para cima, de forma a evitar que as caixas percam a sua resistência e que os produtos balancem e se danifiquem. Sabendo que as caixas serão armazenadas umas em cima das outras, importa realçar que as mesmas podem suportar um peso máximo de 90 quilogramas.

O tempo médio de carga/descarga de uma caixa foi obtido através da observação e cronometragem, sempre do mesmo colaborador, durante esse exercício. Através desta observação foi possível concluir que a diferença de 5 Kg entre as caixas do tipo A e do tipo B não tem influência no seu tempo de carga/descarga, tendo-se fixado este valor nos 30 segundos.

4.3.3. Tipos de Tubo

Grande parte dos produtos comercializados pela organização são tubos. Ao contrário das caixas, os tubos não terão qualquer tipo de limite de peso para se colocar em cima, dada a sua elevada resistência.

A grande variedade de tubos que a empresa comercializa obrigou a uma observação intensiva do carregamento de camiões, dificultada pelo facto dos tubos estarem armazenados

em lotes. Deste modo, foi importante analisar os 10 diferentes tipos de tubos mais comercializados pela organização a serem carregados. Através da média de tempo que um tubo demora a ser carregado/descarregado, independentemente da dimensão ou peso, foi possível observar e fixar que um tubo demora 3 segundos, em média, a ser carregado/descarregado. Importa ainda referir que se registou um desvio-padrão de 1,34.

Tabela 10 - Temporização de carga dos tubos

| | Pegar nos tubos | Tubos | Tempo médio |
|---------|-----------------|-------|-------------|
| Tubo 1 | 35 | 10 | 3,50 |
| Tubo 2 | 40 | 11 | 3,64 |
| Tubo 3 | 36 | 14 | 2,57 |
| Tubo 4 | 45 | 18 | 2,50 |
| Tubo 5 | 32 | 5 | 6,40 |
| Tubo 6 | 39 | 17 | 2,29 |
| Tubo 7 | 75 | 22 | 3,41 |
| Tubo 8 | 78 | 32 | 2,44 |
| Tubo 9 | 25 | 10 | 2,50 |
| Tubo 10 | 44 | 8 | 5,50 |
| Média | 39,5 | | 2,9903 |

4.3.4. Distâncias entre clientes

As distâncias entre clientes foram calculadas através da API *open route service*³. Importa salientar que algumas das distâncias são assimétricas, ou seja, ir do ponto A ao ponto B tem uma distância diferente de ir do ponto B ao ponto A e o tipo de veículo utilizado também tem influência na distância que foi determinada. Por exemplo, existem determinadas rotas que não podem ser realizadas por veículos pesados.

4.4. Abordagens para resolução do problema de distribuição

Após análise intensiva da Logística da organização, observa-se que não existe um processo formal de planeamento de distribuição das rotas, uma vez que não existe um sistema formal definido e são realizados diariamente de forma um pouco ambígua, funcionando como uma espécie de resposta aos problemas que surgem no dia-a-dia.

De forma a resolver o problema de planeamento da distribuição importa definir alguns parâmetros para que seja possível a aplicação de um modelo matemático de

³ Disponível em <https://openrouteservice.org/> (consultado em fevereiro de 2023)

resolução. Importa definir os clientes a servir, o tipo e tamanho da carga e o número de veículos disponíveis.

A organização frequentemente fornece obras de grande dimensão, muitas delas subcontratadas pelo Estado, estando normalmente associadas a encomendas de grande dimensão. A Inoxtubo dá prioridade a estas encomendas, fator este que não deverá ser relevante para a definição das rotas dos métodos em questão dado que estas encomendas costumam ocupar um veículo no seu todo.

Realça-se que a rota de um veículo que parta da organização deve ser definida tendo em conta a distância do local de partida (sede) até aos clientes e fundamentalmente a minimização do tempo de viagem e da distância percorrida, minimizando assim o custo.

4.4.1. Abordagem exata

Para a abordagem exata foi definido um modelo de Programação Linear Inteira Mista para o problema de encaminhamento de veículos com distâncias assimétricas e limites de capacidades de carga e tempo para percorrer uma rota (ACVRP). Este modelo permite uma modelação simples da realidade através de restrições bastante intuitivas, no entanto apresenta uma complexidade computacional grande para um número de clientes superior a 10. O propósito deste modelo é explicar as relações lineares entre variáveis e parâmetros de uma forma compreensível e não a sua aplicação no problema da organização quando o número de clientes é superior a 10.

Parâmetros e Conjuntos

N = conjunto de clientes no gráfico, onde o índice 0 representa o depósito

R = conjuntos de rotas de distribuição

c_{ij} = custo associado ao arco $(i, j) \forall i, j \in N$

q_j = procura associada ao cliente $j \forall j \in N$

t_{ij} = tempo de viagem associado ao arco $(i, j) \forall i, j \in N$

l_j = tempo de descarregamento da procura do cliente em $j \forall j \in N \setminus \{0\}$

Q = capacidade do veículo

T = Período de trabalho

Variáveis de decisão

$$y_k = \begin{cases} 1 & \text{se a rota } k \text{ for selecionada, } \forall k \in R \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{se o arco } (i, j) \text{ é utilizado na rota } k \forall k \in R, \forall i, j \in N \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$u_i = \text{carga de viagem acumulada através do cliente } i, \forall i \in N$$

Formulação Matemática

$$\min \sum_{k=0}^r \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{ijk} \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ijk} = \sum_{i=0}^n x_{ijk} \quad \forall j \in N, k \in R \quad (12)$$

$$\sum_{k=0}^r \sum_{i=0}^n x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in N \setminus \{0\} \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0jk} = y_k \quad \forall k \in R \quad (14)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^n q_j x_{ijk} \leq Q \quad \forall k \in R \quad (15)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^n (t_{ij} + l_j) x_{ijk} + \sum_{j=1}^n t_{j0} x_{j0k} \leq T \quad \forall k \in R \quad (16)$$

$$u_j - u_i + 1 \leq (n - 1)(1 - x_{ijk}) \quad \forall i, j \in N, \forall k \in R \quad (17)$$

$$2 \leq u_i \leq n \quad \forall i \in N \setminus \{0\} \quad (18)$$

$$u_0 = 1 \quad (19)$$

A restrição (Equação 12) garante que o veículo sai do depósito em que entra, ou seja, assegura que o número de vezes que determinado veículo entra em determinado ponto é exatamente igual ao número de vezes que sai desse mesmo ponto. A segunda restrição (Equação 13) garante que em cada ponto só se entra uma vez, ou seja, juntamente com a primeira restrição garante-se que só se entra uma vez em cada ponto e que o veículo que sai é o mesmo que entra. A terceira restrição (Equação 14) assegura que todos os veículos saem

do depósito, que juntamente com a restrição (Equação 12) obrigam a que cada veículo volte para o depósito. A quarta restrição (Equação 15) respeita a capacidade dos veículos, presumindo que todos têm a mesma capacidade. A restrição (Equação 16) garante que o tempo de viagem mais o tempo de descarregar os produtos não ultrapassa o tempo máximo de trabalho. As restrições (Equação 17 a 19) são denominadas Restrições de Eliminação de Subrotas. Seguindo a formulação de Miller et al. (1960), a variável u_i toma um valor para cada ponto de paragem, exceto no depósito. Se um veículo conduzir de i para j , o valor de u_j tem de ser superior ao valor de u_i . Desta forma, é possível garantir que o veículo não vai andar em círculos.

Para testar o modelo, uma vez que o número de clientes da semana com menos clientes é superior a 10 e a complexidade computacional iria ser grande, optou-se por aplicar o modelo aos clientes do tipo A (de acordo com a análise ABC) da semana 3 (semana com menor número de clientes em análise). Para executar o modelo foi utilizada a aplicação LPSolve que permite resolver problemas modelados através de programação linear. O modelo implementado (Apêndice A) foi executado através do LPSolve como apresentado na Figura 36.

| Variables | LP Optimal | MILP Feasible | MILP Better | MILP Better | MILP Better | MILP Better | MILP Better | result |
|-----------|-------------------|------------------|-------------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | 40,574 | 82,3769999999999 | 74,839 | 74,607 | 74,439 | 73,9610000000001 | 70,878 | 70,878 |
| u_4 | 2 | 8 | 6 | 7 | 6 | 7 | 8,00000000000001 | 8,00000000000001 |
| u_6 | 2 | 6 | 7 | 8 | 6,99999999999999 | 8 | 8 | 8 |
| u_3 | 2 | 2 | 2 | 5 | 3,99999999999999 | 2 | 5 | 5 |
| u_1 | 2 | 7 | 5 | 6 | 5 | 6 | 4 | 4 |
| u_2 | 2 | 4 | 3 | 2 | 2,99999999999999 | 5 | 3 | 3 |
| u_5 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| u_7 | 2 | 5 | 4 | 4 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| 1 x_0,7_0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 4 x_1,3_0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 3 x_2,1_0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 5 x_3,6_0 | 0,857142857142857 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 6 x_6,0_0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 x_7,2_0 | 0,142857142857143 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 x_0,5_1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 3 x_4,0_1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 2 x_5,4_1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| y_0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| y_1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| u_0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| x_0,0_0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| x_0,1_0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| v_0,2_0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 36 - Execução do modelo exato no LPSolve

Como se pode observar na Figura 36, a solução é dada em apenas duas rotas. Na primeira (algarismos pretos) o veículo parte do depósito para o cliente 7 e seguidamente

visita o cliente 2. Do cliente 2 parte para o 1, depois para o 3, seguido do 6 e finalmente retorna ao depósito. Na segunda rota (algarismos vermelhos), a solução indica que o veículo deverá ir do depósito ao cliente 5, do cliente 5 ao 4 e do 4 voltar para o depósito. A solução apresenta um custo de distribuição de 70,88€.

4.4.2. Aplicação da biblioteca VRPy e do VRP Spreadsheet Solver

Para as semanas 1 a 4 em análise, será aplicada a biblioteca VRPy (Apêndice B) para a abordagem de geração de colunas sem limite de tempo e limitada a 60 segundos, e ainda a abordagem heurística de Clarke & Wright. Estas semanas serão ainda testadas através do VRP Spreadsheet Solver.

Semana 1 VRPy

Na primeira semana de amostra recolhida foi possível observar que a organização satisfaz 28 clientes. Através do VRPy, tal como mostra a Figura 38, foi possível obter uma solução válida, com um tempo de computação de 4300 segundos, ou seja, 1 hora e 11 minutos. Esta solução tem um custo total de 216,36 € e divide o fornecimento dos clientes em 6 rotas, sendo que a primeira satisfaz 3 clientes, a segunda 8 clientes, a terceira 2 clientes, a quarta 7 clientes, a quinta 2 clientes e a sexta 6 clientes. Sabendo que o camião tem uma carga máxima de 1314 Kg, pode reparar-se que esta nunca é excedida, sendo que na primeira rota são transportados 609,9 Kg, na segunda rota 1147,4 Kg, na terceira rota 1238,1 Kg, na quarta rota 963,8 Kg, na quinta rota 1305,4 Kg e na sexta rota 1248,4 Kg. Sabendo que no máximo um colaborador trabalha 8 horas, o tempo de serviço de uma rota não o pode ultrapassar, facto que pode ser confirmado na Figura 37. Posto isto, obtém-se um tempo total de serviço de 17 horas e 44 minutos e uma distância total percorrida de 921,03 quilómetros.

```

Custo total: 216.3617958

Rotas:
{1: ['Source', '11', '18', '14', 'Sink'],
 2: ['Source', '8', '7', '6', '2', '1', '3', '5', '4', 'Sink'],
 3: ['Source', '20', '13', 'Sink'],
 4: ['Source', '22', '28', '27', '26', '25', '24', '23', 'Sink'],
 5: ['Source', '10', '9', 'Sink'],
 6: ['Source', '21', '19', '16', '17', '15', '12', 'Sink']}

Carga do caminhão (quilogramas):
{1: 609.9, 2: 1147.4, 3: 1238.1, 4: 963.8000000000001, 5: 1305.4, 6: 1248.4}

Duração das rotas (horas):
{1: 1.4980922777777779,
 2: 3.5921485,
 3: 2.767951722222222,
 4: 3.849813111111111,
 5: 1.1208960000000001,
 6: 4.913933833333333}

Tempo de computação (segundos):
4300.64949297905

```

Figura 37 - Resultado VRPy Semana 1

Semana 1 VRPy (Solução 60 segundos)

Observando os resultados obtidos na Figura 38, pode observar-se que a solução obtida pelo VRPy em 60 segundos foi exatamente igual à solução válida obtida em 1 hora e 11 minutos, pelo que biblioteca utilizou a maior parte do tempo a verificar se existiriam soluções de melhor qualidade.

```

Custo total: 216.3617958

Rotas:
{1: ['Source', '11', '18', '14', 'Sink'],
 2: ['Source', '8', '7', '6', '2', '1', '3', '5', '4', 'Sink'],
 3: ['Source', '10', '9', 'Sink'],
 4: ['Source', '20', '13', 'Sink'],
 5: ['Source', '22', '28', '27', '26', '25', '24', '23', 'Sink'],
 6: ['Source', '21', '19', '16', '17', '15', '12', 'Sink']}

Carga do caminhão (quilogramas):
{1: 609.9, 2: 1147.4, 3: 1305.4, 4: 1238.1, 5: 963.8000000000001, 6: 1248.4}

Duração das rotas (horas):
{1: 1.4980922777777779,
 2: 3.5921485,
 3: 1.1208960000000001,
 4: 2.767951722222222,
 5: 3.849813111111111,
 6: 4.913933833333333}

Tempo de computação (segundos):
59.73855233192444

```

Figura 38 - Resultado VRPy em 60 segundos Semana 1

Semana 1 (Heurística Clarke e Wright)

Através do VRPy foi também possível recorrer a uma Heurística de Clarke e Wright que obteve uma solução em apenas 3 segundos de computação. Esta solução válida obteve um custo total de 227,31€ e conseguiu satisfazer os 28 clientes em 6 rotas onde a primeira visita 8 clientes, a segunda visita 4 clientes, a terceira visita 5 clientes, a quarta visita 7 clientes e a quinta e a sexta visitam 2 clientes cada. Em termos de carga, pode verificar-se que a primeira rota leva uma carga de 992,3 Kg, a segunda 1155,9 Kg, a terceira 757 Kg, a quarta 1064,3 Kg, a quinta 1238,1 Kg e a sexta 1305,4 Kg. A duração das rotas também foi cumprida como se pode analisar na Figura 39. Posto isto, obtém-se um tempo total de serviço de 18 horas e 31 minutos e uma distância total percorrida de 995,51 quilómetros.

```
Custo total: 227.3157574

Rotas:
{0: ['Source', '22', '19', '16', '18', '17', '15', '14', '12', 'Sink'],
 1: ['Source', '21', '5', '3', '4', 'Sink'],
 2: ['Source', '8', '7', '6', '2', '1', 'Sink'],
 3: ['Source', '11', '24', '27', '26', '25', '28', '23', 'Sink'],
 4: ['Source', '20', '13', 'Sink'],
 5: ['Source', '10', '9', 'Sink']}

Carga do camião (quilogramas):
{0: 992.3, 1: 1155.9, 2: 757.0, 3: 1064.3000000000002, 4: 1238.1, 5: 1305.4}

Duração das rotas (horas):
{0: 2.7095399444444443,
 1: 5.011103500000001,
 2: 3.1323848333333333,
 3: 3.7947247777777777,
 4: 2.7679517222222222,
 5: 1.1208960000000001}
```

Figura 39 - Heurística Clarke e Wright VRPy Semana 1

Semana 1 (VRP Spreadsheet Solver):

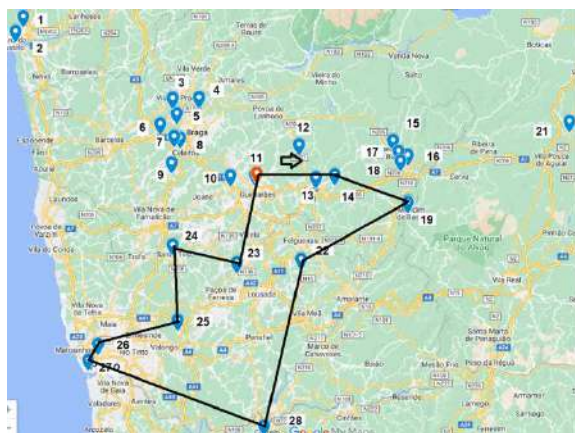
Através do VRP Spreadsheet Solver foi possível obter a melhor solução da primeira semana observada, com um custo de 207,37€ dividido por 6 rotas. Na primeira rota foram visitados 9 clientes com um custo total de 61,66€, sendo entregues 1312,6Kg e tendo demorado 4 horas e 50 minutos. Na segunda rota foram visitados 5 clientes com um custo total de 51,08€, sendo entregues 1171 Kg e tendo demorado 4 horas e 11 minutos. Na terceira rota foram visitados 2 clientes com um custo total de 14,06€, sendo entregues 1305,4 Kg e tendo demorado 1 hora e 4 minutos. Na quarta rota foram visitados 3 clientes com um custo total de 35,56€, sendo entregues 1246,5 Kg e tendo demorado 2 horas e 53 minutos. Na quinta rota foi visitado apenas um cliente com um custo de 0,95€, sendo entregues 150,5 Kg e tendo demorado 10 minutos. Na sexta rota foram visitados 8 clientes com um custo total de 44,04€, sendo entregues 1133,4 Kg e tendo demorado 3 horas e 29 minutos. Posto isto,

obteve-se um tempo total de serviço de 14 horas e 37 minutos e uma distância total percorrida de 901,6 quilômetros (Figura 40).

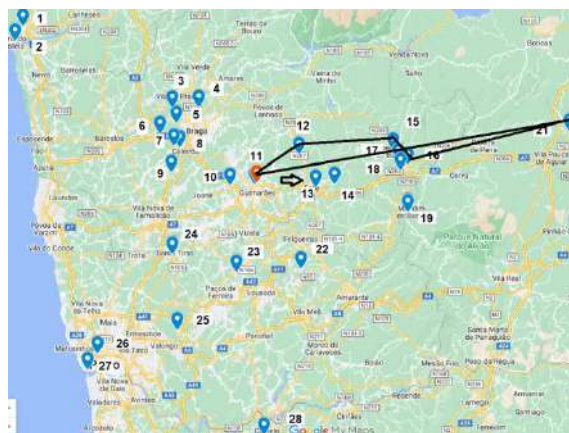
| | | | | | | | |
|--------------------------|----------------------|-----------------|------------------|---------------------|----------------|------------------|---------------------|
| Total net profit: | | -207,37 | | | | | |
| Vehicle: | A 1 | Stops: | 10 | Net profit: | -61,66 | | |
| Stop count | Location name | Distance | Delivered | Driving time | Arrival | Departure | Working time |
| 0 | Depot | 0,00 | 0 | 0:00 | 08:00 | 08:00 | 0:00 |
| 1 | Customer 14 | 19,04 | 70 | 0:19 | 08:19 | 08:19 | 0:19 |
| 2 | Customer 19 | 45,84 | 425,4 | 0:45 | 08:45 | 08:57 | 0:57 |
| 3 | Customer 22 | 78,99 | 475,4 | 1:18 | 09:30 | 09:31 | 1:31 |
| 4 | Customer 28 | 123,41 | 514,4 | 2:02 | 10:15 | 10:16 | 2:16 |
| 5 | Customer 27 | 177,08 | 574,4 | 2:55 | 11:09 | 11:10 | 3:10 |
| 6 | Customer 26 | 182,35 | 604,4 | 3:00 | 11:15 | 11:15 | 3:15 |
| 7 | Customer 25 | 207,32 | 688 | 3:24 | 11:39 | 11:41 | 3:41 |
| 8 | Customer 24 | 225,46 | 1032 | 3:42 | 11:59 | 12:02 | 4:02 |
| 9 | Customer 23 | 243,56 | 1312,6 | 4:00 | 12:20 | 12:26 | 4:26 |
| 10 | Depot | 268,09 | 1312,6 | 4:24 | 12:50 | 12:50 | 4:50 |
| Vehicle: | A 2 | Stops: | 6 | Net profit: | -51,08 | | |
| Stop count | Location name | Distance | Delivered | Driving time | Arrival | Departure | Working time |
| 0 | Depot | 0,00 | 0 | 0:00 | 08:00 | 08:00 | 0:00 |
| 1 | Customer 21 | 101,48 | 823,5 | 1:41 | 09:41 | 09:59 | 1:59 |
| 2 | Customer 16 | 170,86 | 857,5 | 2:50 | 11:08 | 11:09 | 3:09 |
| 3 | Customer 17 | 173,64 | 937,5 | 2:52 | 11:11 | 11:11 | 3:11 |
| 4 | Customer 15 | 176,89 | 1160 | 2:55 | 11:14 | 11:27 | 3:27 |
| 5 | Customer 12 | 207,31 | 1171 | 3:25 | 11:57 | 11:57 | 3:57 |
| 6 | Depot | 222,10 | 1171 | 3:39 | 12:11 | 12:11 | 4:11 |
| Vehicle: | A 3 | Stops: | 3 | Net profit: | -14,06 | | |
| Stop count | Location name | Distance | Delivered | Driving time | Arrival | Departure | Working time |
| 0 | Depot | 0,00 | 0 | 0:00 | 08:00 | 08:00 | 0:00 |
| 1 | Customer 10 | 10,28 | 10 | 0:10 | 08:10 | 08:10 | 0:10 |
| 2 | Customer 9 | 27,25 | 1305,4 | 0:26 | 08:26 | 08:31 | 0:31 |
| 3 | Depot | 61,15 | 1305,4 | 0:59 | 09:04 | 09:04 | 1:04 |
| Vehicle: | A 4 | Stops: | 4 | Net profit: | -35,56 | | |
| Stop count | Location name | Distance | Delivered | Driving time | Arrival | Departure | Working time |
| 0 | Depot | 0,00 | 0 | 0:00 | 08:00 | 08:00 | 0:00 |
| 1 | Customer 20 | 72,36 | 707,1 | 1:12 | 09:12 | 09:30 | 1:30 |
| 2 | Customer 18 | 115,11 | 1196,5 | 1:54 | 10:12 | 10:14 | 2:14 |
| 3 | Customer 13 | 140,30 | 1246,5 | 2:19 | 10:39 | 10:39 | 2:39 |
| 4 | Depot | 154,63 | 1246,5 | 2:33 | 10:53 | 10:53 | 2:53 |
| Vehicle: | A 5 | Stops: | 2 | Net profit: | -0,95 | | |
| Stop count | Location name | Distance | Delivered | Driving time | Arrival | Departure | Working time |
| 0 | Depot | 0,00 | 0 | 0:00 | 08:00 | 08:00 | 0:00 |
| 1 | Customer 11 | 2,07 | 150,5 | 0:02 | 08:02 | 08:08 | 0:08 |
| 2 | Depot | 4,14 | 150,5 | 0:04 | 08:10 | 08:10 | 0:10 |
| Vehicle: | A 6 | Stops: | 9 | Net profit: | -44,04 | | |
| Stop count | Location name | Distance | Delivered | Driving time | Arrival | Departure | Working time |
| 0 | Depot | 0,00 | 0 | 0:00 | 08:00 | 08:00 | 0:00 |
| 1 | Customer 8 | 25,28 | 50 | 0:25 | 08:25 | 08:26 | 0:26 |
| 2 | Customer 7 | 27,58 | 432,8 | 0:27 | 08:28 | 08:38 | 0:38 |
| 3 | Customer 6 | 33,23 | 444 | 0:32 | 08:43 | 08:43 | 0:43 |
| 4 | Customer 2 | 88,88 | 712 | 1:27 | 09:38 | 09:38 | 1:38 |
| 5 | Customer 1 | 92,88 | 757 | 1:31 | 09:42 | 09:43 | 1:43 |
| 6 | Customer 3 | 149,15 | 857 | 2:27 | 10:39 | 10:42 | 2:42 |
| 7 | Customer 5 | 152,69 | 1108,4 | 2:30 | 10:45 | 10:51 | 2:51 |
| 8 | Customer 4 | 160,31 | 1133,4 | 2:37 | 10:58 | 10:58 | 2:58 |
| 9 | Depot | 191,48 | 1133,4 | 3:08 | 11:29 | 11:29 | 3:29 |

Figura 40 - VRP Spreadsheet Solver Semana 1

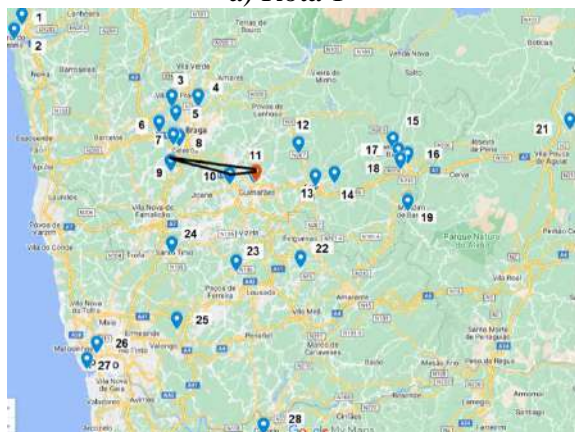
A melhor solução encontrada foi obtida pelo VRP SpreadSheet Solver e é representada pela Figura 41, tendo um custo 207,37€.



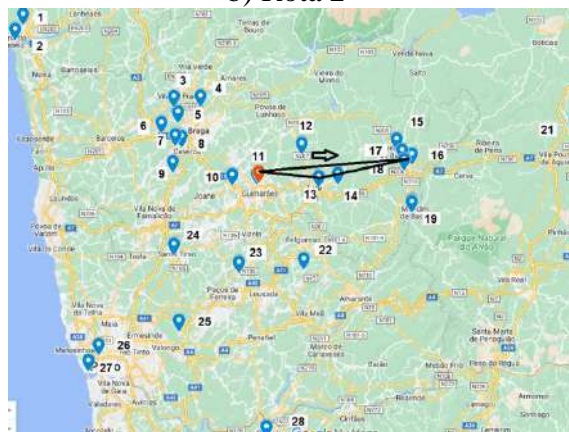
a) Rota 1



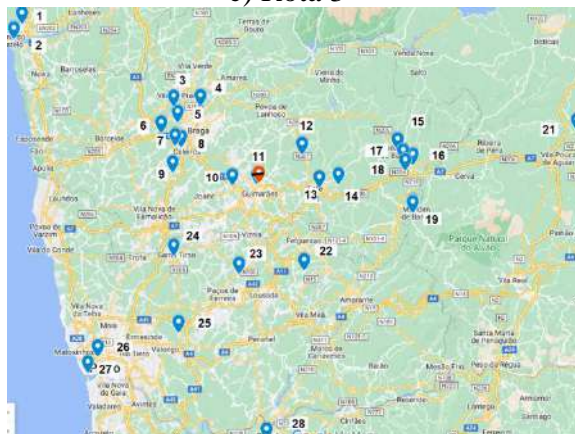
b) Rota 2



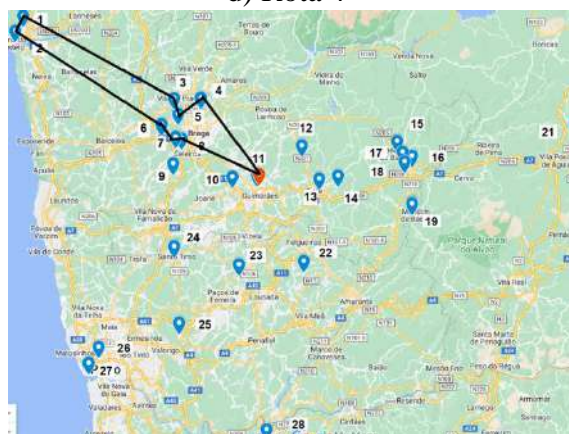
c) Rota 3



d) Rota 4



e) Rota 5



f) Rota 6

Figura 41 - Representação da melhor rota encontrada

Semana 2 VRPy

Na Semana 2, através do VRPy não foi possível correr o modelo na sua integridade devido á complexidade e demora para obter a solução ótima. Deste modo, foi necessário limitar o modelo a 7200 segundos, ou seja, 2 horas. Neste período a solução ótima obtida pode ser observada na Figura 42, solução esta com um custo total de 196,03€ dividido por 6 rotas.

Na primeira rota foram visitados 9 clientes e entregues 1233,2 Kg num tempo total de 1,8 horas, ou seja, 1 hora e 48 minutos.

Na segunda rota foram visitados 8 clientes e entregues 1090,4 Kg num tempo total de 3,27 horas, ou seja, 3 horas e 16 minutos.

Na terceira rota foram visitados 2 clientes e entregues 190 Kg num tempo total de 6,67 horas, ou seja, 6 horas e 40 minutos.

Na quarta rota foram visitados 7 clientes e entregues 1309,9 Kg num tempo total de 2,7 horas, ou seja, 2 horas e 42 minutos.

Na quinta rota foi visitado apenas um cliente e entregues 1300 Kg num tempo total de 1,8 horas, ou seja, 1 hora e 48 minutos.

Na sexta rota foram visitados 2 clientes e entregues 628 Kg num tempo total de 0,65 horas, ou seja, 39 minutos.

Posto isto, obtém-se um tempo total de serviço de 16 horas e 53 minutos e uma distância total percorrida de 750,85 quilómetros.

```
Custo total: 196.03133680000002

Rotas:
{1: ['Source', '20', '13', '14', '10', '22', '2', '4', '29', '12', 'Sink'],
 2: ['Source', '3', '5', '28', '19', '11', '9', '15', '8', 'Sink'],
 3: ['Source', '24', '6', 'Sink'],
 4: ['Source', '27', '25', '7', '23', '16', '21', '18', 'Sink'],
 5: ['Source', '26', 'Sink'],
 6: ['Source', '1', '17', 'Sink']}

Carga do camião (quilogramas):
{1: 1233.2, 2: 1090.4, 3: 190.0, 4: 1309.8999999999999, 5: 1300.0, 6: 628.0}

Duração das rotas (horas):
{1: 1.7972638333333335,
 2: 3.2679905555555555,
 3: 6.6719562777777774,
 4: 2.6974534444444447,
 5: 1.8075128333333335,
 6: 0.6491035}

Tempo de computação (segundos):
7200.227906942368
```

Figura 42 - Resultado VRPy Semana 2

Semana 2 VRPy (Solução 60 segundos)

Apesar do custo da solução obtida com um tempo de computação de 2 horas ser igual ao custo da solução obtida com um tempo de computação em 60 segundos, registam-se ligeiras diferenças nas suas rotas, sendo que em 60 segundos a solução passou a ser de 5 rotas, como se pode verificar na Figura 43.

Na primeira rota foi apenas visitado um cliente e entregue uma carga de 1300 Kg num tempo total de 1,8 horas, ou seja, 1 hora e 48 minutos.

Na segunda rota foram visitados 5 clientes e entregue uma carga de 736,4 Kg num tempo total de 7,85 horas, ou seja, 7 horas e 51 minutos.

Na terceira rota foram visitados 9 clientes e entregue uma carga de 1282,4 Kg num tempo total de 1,9 horas, ou seja, 1 hora e 54 minutos.

Na quarta rota foram visitados 6 clientes e entregue uma carga de 1137,9 Kg num tempo total de 2,07 horas, ou seja, 2 horas e 4 minutos.

Na quinta rota foram visitados 8 clientes e entregue uma carga de 1294,8 Kg num tempo total de 3,26 horas, ou seja, 3 horas e 15 minutos.

Posto isto, obtém-se um tempo total de serviço de 16 horas e 53 minutos e uma distância total percorrida de 750,85 quilómetros.

```
Custo total: 196.03133450000004

Rotas:
{1: ['Source', '26', 'Sink'],
 2: ['Source', '24', '16', '6', '21', '20', 'Sink'],
 3: ['Source', '3', '13', '14', '10', '22', '2', '4', '29', '12', 'Sink'],
 4: ['Source', '27', '25', '7', '23', '18', '1', 'Sink'],
 5: ['Source', '19', '11', '28', '9', '5', '15', '8', '17', 'Sink']}

Carga do camião (quilogramas):
{1: 1300.0, 2: 736.4, 3: 1282.3999999999999, 4: 1137.9, 5: 1294.8}

Duração das rotas (horas):
{1: 1.8075128333333335,
 2: 7.852132611111111,
 3: 1.9070300000000002,
 4: 2.067729611111111,
 5: 3.2568752222222224}

Tempo de computação (segundos):
59.73070049285889
```

Figura 43 - Resultado VRPy 60 segundos Semana 2

Semana 2 (Heurística Clarke e Wright)

Utilizando a Heurística de Clarke e Wright na segunda amostra pode verificar-se que o custo obtido (207,86€) é significativamente elevado comparativamente ao custo das soluções anteriores (196,03€).

Esta solução distribui as cargas em 6 rotas:

A primeira visita 7 clientes e entrega uma carga de 1296,8 Kg em 3,11 horas, ou seja, 3 horas e 6 minutos.

A segunda visita 6 clientes e entrega uma carga de 944,6 Kg em 1,65 horas, ou seja, 1 hora e 39 minutos.

A terceira visita 2 clientes e entrega uma carga de 190 Kg em 6,67 horas, ou seja, 6 horas e 40 minutos.

A quarta visita 1 cliente e entrega uma carga de 1300 Kg em 1,81 horas, ou seja, 1 hora e 48 minutos.

A quinta visita 5 clientes e entrega uma carga de 712,2 Kg em 1,44 horas, ou seja, 1 hora e 26 minutos.

A sexta visita 8 clientes e entrega uma carga de 1307,9 Kg em 3,08 horas, ou seja, 3 horas e 4 minutos.

Posto isto, obteve-se um tempo total de serviço de 17 horas e 46 minutos e uma distância total percorrida de 838,09 quilómetros (Figura 44).

```
Custo total: 207.85766080000002

Rotas:
{0: ['Source', '5', '9', '19', '11', '28', '25', '27', 'Sink'],
 1: ['Source', '13', '14', '10', '22', '2', '3', 'Sink'],
 2: ['Source', '24', '6', 'Sink'],
 3: ['Source', '26', 'Sink'],
 4: ['Source', '20', '4', '29', '12', '1', 'Sink'],
 5: ['Source', '8', '15', '7', '23', '16', '21', '18', '17', 'Sink']}

Carga do camião (quilogramas):
{0: 1296.8, 1: 944.6, 2: 190.0, 3: 1300.0, 4: 712.2, 5: 1307.9}

Duração das rotas (horas):
{0: 3.1080318888888887,
 1: 1.6458116666666667,
 2: 6.6719562777777774,
 3: 1.8075128333333335,
 4: 1.4355776666666664,
 5: 3.0793701111111114}
```

Figura 44 - Heurística Clarke e Wright VRPy Semana 2

Semana 2 (VRP Spreadsheet Solver)

O VRP Spreadsheet Solver, tal como na primeira semana, oferece a melhor solução associada ao menor custo, neste caso de 180, 52€ distribuído por 6 rotas diferentes.

A primeira e segunda rotas visitam apenas um cliente onde são entregues 1300 Kg e 290 Kg, demorando 1 hora e 48 minutos e 18 minutos respetivamente.

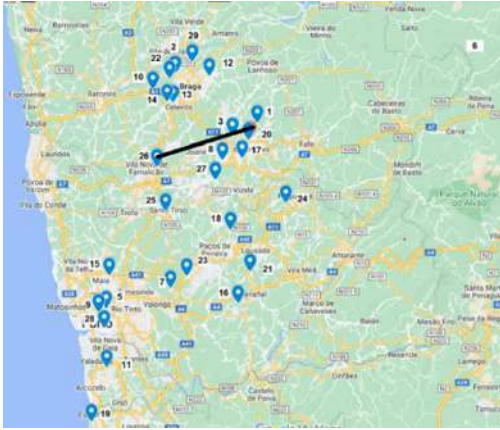
A terceira rota é bem mais extensa e visita 10 clientes, perfazendo uma carga total de 1282 Kg que demora 3 horas e 32 minutos a ser entregue.

A quarta rota satisfaz a procura de 2 clientes com uma carga de 422,4 Kg e um tempo de entrega de 22 minutos.

A quinta rota visita 8 clientes com uma carga total de 1148 Kg que demora 1 hora e 40 minutos a ser concluída.

A sexta e última rota visita 7 clientes, entrega 1308,3 Kg e demora 7 horas e 41 minutos a ser executada, estando assim muito perto do limite de trabalho diário de 8 horas.

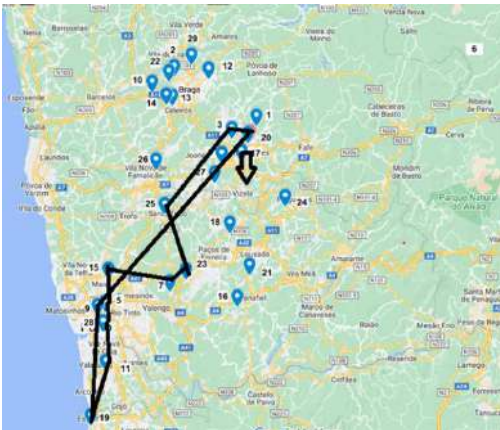
Posto isto, obtém-se um tempo total de serviço de 15 horas e 21 minutos e uma distância total percorrida de 784,89 quilómetros.



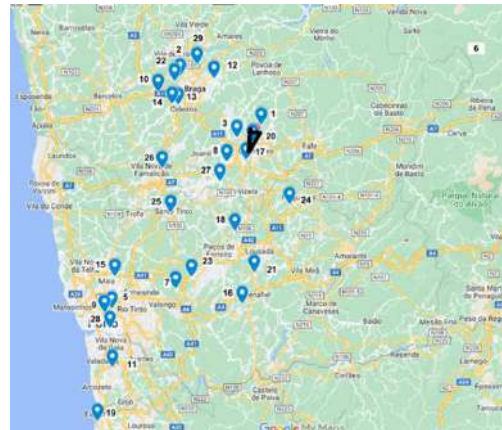
a) Rota 1



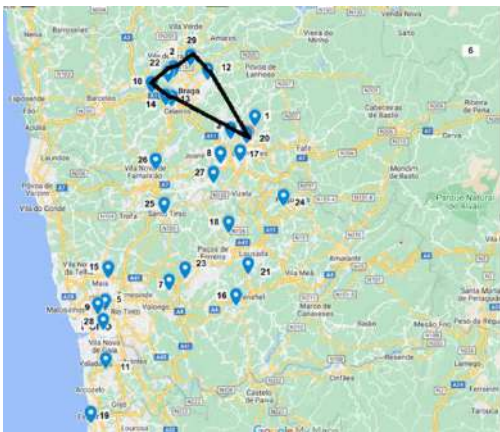
b) Rota 2



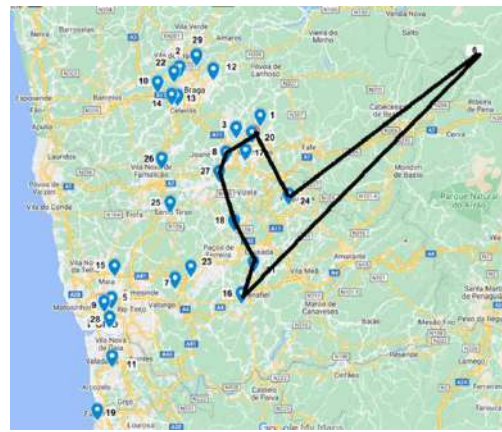
c) Rota 3



d) Rota 4



e) Rota 5



f) Rota 6

Figura 46 - Representação da melhor rota encontrada

Semana 3 VRPy

Na Semana 3 a amostra é de menor dimensão, tendo sido apenas visitados 13 clientes.

Como se pode verificar nas Figura 47, Figura 48 e Figura 49, a solução obtida no VRPy com 60 ou 72000 segundos de computação, bem como no VRP Spreadsheet Solver é exatamente a mesma, apresentando-se com um custo total de 118,58€ dividido em 4 rotas.

Numa das rotas são visitados dois clientes onde são entregues 1300 Kg de mercadoria e demora 2 horas e 22 minutos.

Noutra rota, são satisfeitos 3 clientes e entregues 1181 Kg em 4 horas e 2 minutos.

Outros dois clientes são visitados numa rota onde são entregues 376 Kg em 27 minutos.

Por fim, a rota maior visita 6 clientes, entregando 1308,5 Kg em 2 horas em 13 minutos.

Posto isto, obtém-se um tempo total de serviço de 9 horas e 4 minutos e uma distância total percorrida de 515,55 quilómetros.

| Total net profit: | | -118,58 | | | | | |
|-------------------|---------------|----------|-----------|--------------|---------|-----------|--------------|
| Vehicle: | A 1 | Stops: | 3 | Net profit: | -30,34 | | |
| Stop count | Location name | Distance | Delivered | Driving time | Arrival | Departure | Working time |
| 0 | Depot | 0,00 | 0 | 0:00 | 08:00 | 08:00 | 0:00 |
| 1 | Customer 7 | 60,11 | 1150 | 1:00 | 09:00 | 09:10 | 1:10 |
| 2 | Customer 6 | 76,72 | 1300 | 1:16 | 09:26 | 09:27 | 1:27 |
| 3 | Depot | 131,92 | 1300 | 2:11 | 10:22 | 10:22 | 2:22 |
| Vehicle: | A 2 | Stops: | 4 | Net profit: | -54,38 | | |
| Stop count | Location name | Distance | Delivered | Driving time | Arrival | Departure | Working time |
| 0 | Depot | 0,00 | 0 | 0:00 | 08:00 | 08:00 | 0:00 |
| 1 | Customer 2 | 48,14 | 85 | 0:48 | 08:48 | 08:48 | 0:48 |
| 2 | Customer 1 | 49,96 | 222 | 0:49 | 08:49 | 08:52 | 0:52 |
| 3 | Customer 10 | 154,56 | 1181 | 2:33 | 10:36 | 10:41 | 2:41 |
| 4 | Depot | 236,44 | 1181 | 3:54 | 12:02 | 12:02 | 4:02 |
| Vehicle: | A 3 | Stops: | 3 | Net profit: | -6,11 | | |
| Stop count | Location name | Distance | Delivered | Driving time | Arrival | Departure | Working time |
| 0 | Depot | 0,00 | 0 | 0:00 | 08:00 | 08:00 | 0:00 |
| 1 | Customer 8 | 12,97 | 173 | 0:12 | 08:12 | 08:13 | 0:13 |
| 2 | Customer 9 | 21,77 | 376 | 0:20 | 08:21 | 08:23 | 0:23 |
| 3 | Depot | 26,55 | 376 | 0:24 | 08:27 | 08:27 | 0:27 |
| Vehicle: | A 4 | Stops: | 7 | Net profit: | -27,75 | | |
| Stop count | Location name | Distance | Delivered | Driving time | Arrival | Departure | Working time |
| 0 | Depot | 0,00 | 0 | 0:00 | 08:00 | 08:00 | 0:00 |
| 1 | Customer 5 | 7,90 | 399 | 0:07 | 08:07 | 08:10 | 0:10 |
| 2 | Customer 13 | 19,14 | 479 | 0:18 | 08:21 | 08:22 | 0:22 |
| 3 | Customer 12 | 20,92 | 719 | 0:19 | 08:23 | 08:24 | 0:24 |
| 4 | Customer 4 | 25,61 | 834 | 0:23 | 08:28 | 08:29 | 0:29 |
| 5 | Customer 3 | 54,67 | 883,5 | 0:52 | 08:58 | 08:59 | 0:59 |
| 6 | Customer 11 | 88,09 | 1308,5 | 1:25 | 09:32 | 09:41 | 1:41 |
| 7 | Depot | 120,64 | 1308,5 | 1:57 | 10:13 | 10:13 | 2:13 |

AC

Figura 47 - VRP Spreadsheet Solver Semana 3


```
Custo total: 118.57578930000001

Rotas:
{1: ['Source', '5', '13', '12', '4', '3', '11', 'Sink'],
 2: ['Source', '8', '9', 'Sink'],
 3: ['Source', '2', '1', '10', 'Sink'],
 4: ['Source', '7', '6', 'Sink']}

Carga do caminhão (quilogramas):
{1: 1308.5, 2: 376.0, 3: 1181.0, 4: 1300.0}

Duração das rotas (horas):
{1: 2.2798461666666667,
 2: 0.5027027777777777,
 3: 4.079805833333333,
 4: 2.3856492777777776}

Tempo de computação (segundos):
0.8013317584991455
```

Figura 48 - Resultado VRPy Semana 3

```
Custo total: 118.57578930000001

Rotas:
{1: ['Source', '5', '13', '12', '4', '3', '11', 'Sink'],
 2: ['Source', '2', '1', '10', 'Sink'],
 3: ['Source', '8', '9', 'Sink'],
 4: ['Source', '7', '6', 'Sink']}

Carga do caminhão (quilogramas):
{1: 1308.5, 2: 1181.0, 3: 376.0, 4: 1300.0}

Duração das rotas (horas):
{1: 2.2798461666666667,
 2: 4.079805833333333,
 3: 0.5027027777777777,
 4: 2.3856492777777776}

Tempo de computação (segundos):
0.7932736873626709
```

Figura 49 - Resultado VRPy 60 segundos Semana 3

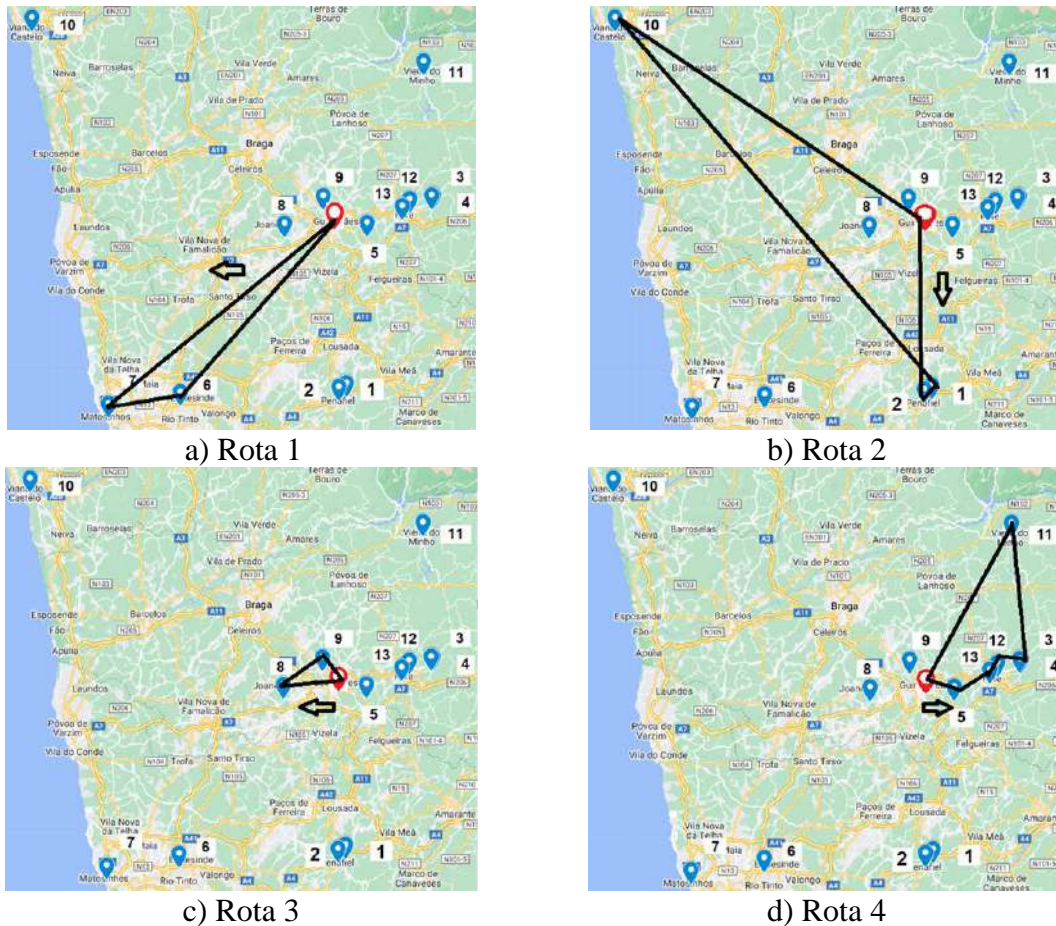


Figura 50 - Representação da melhor rota encontrada

Semana 3 (Heurística Clarke e Wright)

Tal como nas amostras anteriores, a Heurística de Clark e Wright apresenta uma solução que poderá ser considerada pior pois apresenta um custo mais elevado, neste caso de 124,65€, sendo este custo nas soluções prévias de 118,58€ (Figura 51).

Esta solução divide-se em 5 rotas:

A primeira satisfaz dois clientes e entrega 376 Kg em 30 minutos.

A segunda satisfaz também satisfaz dois clientes e entrega 1300 Kg em 2 horas e 23 minutos.

A terceira satisfaz 3 clientes e entrega 754 Kg em 49 minutos.

A quarta satisfaz 3 clientes e entrega 554,5 Kg em 1 hora e 54 minutos.

A quinta satisfaz 3 clientes e entrega 1181 Kg em 4 horas e 5 minutos.

Posto isto, obtém-se um tempo total de serviço de 9 horas e 41 minutos e uma distância total percorrida de 541,93 quilómetros.


```

Custo total: 124.64447730000002

Rotas:
{0: ['Source', '8', '9', 'Sink'],
 1: ['Source', '7', '6', 'Sink'],
 2: ['Source', '12', '4', '5', 'Sink'],
 3: ['Source', '13', '3', '11', 'Sink'],
 4: ['Source', '2', '1', '10', 'Sink']}

Carga do camião (quilogramas):
{0: 376.0, 1: 1300.0, 2: 754.0, 3: 554.5, 4: 1181.0}

Duração das rotas (horas):
{0: 0.5027027777777777,
 1: 2.3856492777777776,
 2: 0.8172465,
 3: 1.9023596666666667,
 4: 4.079805833333333}

Tempo de computação (segundos):
None

```

Figura 51 - Heurística Clarke e Wright VRPy Semana 3

Semana 4 VRPy

Na semana 4 a organização registou 17 clientes satisfeitos pela viatura da amostra. Como o tempo de computação para encontrar a solução foi de apenas 16,3 segundos, não importa realizar um teste para a solução a 60 segundos (Figura 52).

Através do VRPy, a melhor solução encontrada equivale a um custo total de 109,57€ dividido por 4 rotas.

A primeira rota satisfaz 5 clientes e entrega 1273 Kg em 1,6 horas, ou seja, 1 hora e 36 minutos.

A segunda rota visita 8 clientes e entrega 1237 Kg em 4,97 horas, ou seja, 4 horas e 58 minutos.

A terceira rota visita apenas 1 cliente e entrega 110 Kg em 0,22 horas, ou seja, 13 minutos.

A quarta rota satisfaz 4 clientes e entrega 1245 Kg em 2,39 horas, ou seja, 2 horas e 23 minutos.

Posto isto, obtém-se um tempo total de serviço de 9 horas e 10 minutos e uma distância total percorrida de 476,37 quilómetros.

```

Custo total: 109.56522880000003

Rotas:
{1: ['Source', '10', '5', '13', '12', '7', 'Sink'],
 2: ['Source', '8', '1', '2', '14', '6', '4', '3', '15', 'Sink'],
 3: ['Source', '16', 'Sink'],
 4: ['Source', '9', '17', '11', 'Sink']}

Carga do camião (quilogramas):
{1: 1273.0, 2: 1237.0, 3: 110.0, 4: 1245.0}

Duração das rotas (horas):
{1: 1.6031937222222223,
 2: 4.975896277777778,
 3: 0.2211678333333334,
 4: 2.3861959444444447}

Tempo de computação (segundos):
16.260154008865356

```

Figura 52 - Resultado VRPy Semana 4

Semana 4 (Heurística Clarke e Wright)

Nesta amostra, como nas três semanas anteriores, a Heurística de Clarke e Wright obteve uma solução pior (109,95€) do que o VRPy, ainda que nesta amostra a diferença tenha sido mínima.

Nesta solução são também registadas 4 rotas. Na primeira rota é apenas visitado um cliente e são entregues 110 Kg em 0,22 horas, ou seja, 13 minutos.

Na segunda rota são visitados 8 clientes e entregues 1222 Kg em 4,87 horas, ou seja, 4 horas e 52 minutos.

Na terceira rota são visitados 3 clientes e entregues 1245 Kg em 2,39 horas, ou seja, 2 horas e 23 minutos.

Na quarta rota são visitados 5 clientes e entregues 1288 Kg em 1,73 horas, ou seja, 1 hora e 43 minutos.

Posto isto, obtém-se um tempo total de serviço de 9 horas e 12 minutos e uma distância total percorrida de 478,0619 quilómetros.

```

Custo total: 109.9542462

Rotas:
{0: ['Source', '16', 'Sink'],
 1: ['Source', '10', '8', '2', '14', '6', '4', '3', '15', 'Sink'],
 2: ['Source', '9', '17', '11', 'Sink'],
 3: ['Source', '5', '13', '1', '12', '7', 'Sink']}

Carga do camião (quilogramas):
{0: 110.0, 1: 1222.0, 2: 1245.0, 3: 1288.0}

Duração das rotas (horas):
{0: 0.22116783333333334,
 1: 4.8732481666666665,
 2: 2.3861959444444447,
 3: 1.7340315}

```

Figura 53 – Heurística Clarke e Wright VRPy Semana 4

Semana 4 (VRP Spreadsheet Solver)

Na Semana 4, tal como em todas as amostras anteriores, foi o VRP Spreadsheet Solver que obteve a melhor solução, neste caso com um custo de apenas 104,74€ dividido por 4 rotas como se pode observar na Figura 54.

A primeira rota visita apenas um cliente, percorre 4,14 quilómetros e entrega 1100 Kg em 31 minutos.

A segunda rota satisfaz 4 clientes, percorre 122,72 quilómetros e entrega 552 Kg em 2 horas e 12 minutos.

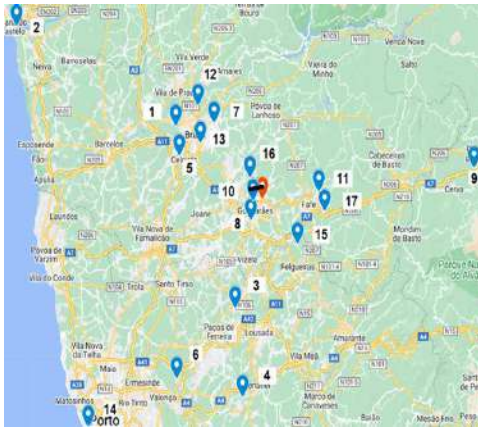
A terceira rota visita 4 clientes, percorre 62,78 quilómetros e entrega 62,78 Kg em 1 hora e 20 minutos.

A quarta rota visita 8 clientes, percorre 265,76 quilómetros e entrega 1180 Kg em 4 horas e 46 minutos.

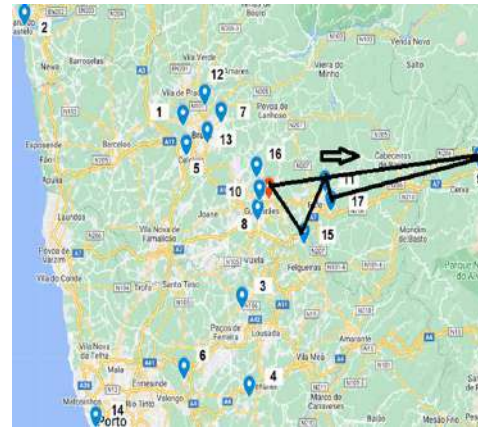
Posto isto, obtém-se um tempo total de serviço de 8 horas e 49 minutos e uma distância total percorrida de 455,4 quilómetros.

| | | | | | | | |
|--------------------------|----------------------|-----------------|------------------|---------------------|----------------|------------------|---------------------|
| Total net profit: | -104,74 | | | | | | |
| Vehicle: | A 1 | Stops: | 2 | Net profit: | -0,95 | | |
| Stop count | Location name | Distance | Delivered | Driving time | Arrival | Departure | Working time |
| 0 | Depot | 0,00 | 0 | 0:00 | 08:00 | 08:00 | 0:00 |
| 1 | Customer 10 | 2,07 | 1100 | 0:02 | 08:02 | 08:29 | 0:29 |
| 2 | Depot | 4,14 | 1100 | 0:04 | 08:31 | 08:31 | 0:31 |
| Vehicle: | A 2 | Stops: | 5 | Net profit: | -28,23 | | |
| Stop count | Location name | Distance | Delivered | Driving time | Arrival | Departure | Working time |
| 0 | Depot | 0,00 | 0 | 0:00 | 08:00 | 08:00 | 0:00 |
| 1 | Customer 9 | 50,38 | 7 | 0:50 | 08:50 | 08:50 | 0:50 |
| 2 | Customer 17 | 90,09 | 117 | 1:30 | 09:30 | 09:31 | 1:31 |
| 3 | Customer 11 | 96,65 | 152 | 1:36 | 09:37 | 09:38 | 1:38 |
| 4 | Customer 15 | 108,17 | 552 | 1:48 | 09:49 | 09:57 | 1:57 |
| 5 | Depot | 122,72 | 552 | 2:02 | 10:12 | 10:12 | 2:12 |
| Vehicle: | A 3 | Stops: | 5 | Net profit: | -14,44 | | |
| Stop count | Location name | Distance | Delivered | Driving time | Arrival | Departure | Working time |
| 0 | Depot | 0,00 | 0 | 0:00 | 08:00 | 08:00 | 0:00 |
| 1 | Customer 16 | 6,16 | 175 | 0:06 | 08:06 | 08:08 | 0:08 |
| 2 | Customer 13 | 23,32 | 783 | 0:23 | 08:25 | 08:38 | 0:38 |
| 3 | Customer 12 | 30,65 | 808 | 0:30 | 08:45 | 08:46 | 0:46 |
| 4 | Customer 7 | 38,72 | 958 | 0:38 | 08:54 | 08:56 | 0:56 |
| 5 | Depot | 62,78 | 958 | 1:02 | 09:20 | 09:20 | 1:20 |
| Vehicle: | A 4 | Stops: | 9 | Net profit: | -61,12 | | |
| Stop count | Location name | Distance | Delivered | Driving time | Arrival | Departure | Working time |
| 0 | Depot | 0,00 | 0 | 0:00 | 08:00 | 08:00 | 0:00 |
| 1 | Customer 5 | 25,28 | 162 | 0:25 | 08:25 | 08:28 | 0:28 |
| 2 | Customer 1 | 34,63 | 207 | 0:34 | 08:38 | 08:39 | 0:39 |
| 3 | Customer 2 | 93,27 | 257 | 1:33 | 09:37 | 09:38 | 1:38 |
| 4 | Customer 14 | 167,42 | 397 | 2:47 | 10:52 | 10:56 | 2:56 |
| 5 | Customer 6 | 196,02 | 747 | 3:16 | 11:24 | 11:30 | 3:30 |
| 6 | Customer 4 | 220,55 | 947 | 3:40 | 11:54 | 11:57 | 3:57 |
| 7 | Customer 3 | 240,75 | 1040 | 4:00 | 12:17 | 12:18 | 4:18 |
| 8 | Customer 8 | 259,89 | 1180 | 4:19 | 12:37 | 12:40 | 4:40 |
| 9 | Depot | 265,76 | 1180 | 4:25 | 12:46 | 12:46 | 4:46 |

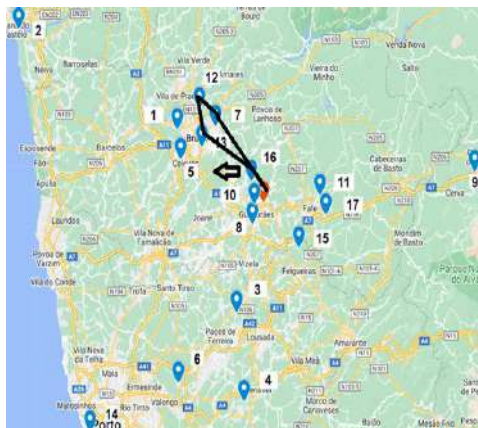
Figura 54 - Semana 4 VRP Spreadsheet Solver



a) Rota 1



b) Rota 2



c) Rota 3



d) Rota 4

Figura 55 – Representação da melhor rota encontrada

Semana 4 Real

Na Semana 4 foi possível realizar a análise das rotas realmente efetuadas pelo veículo da amostra para satisfazer os 17 clientes. Através desta análise foi possível concluir que o número de rotas efetuadas foram realmente 4. Na primeira rota foram visitados 4 clientes, percorridos 220,7 quilómetros e entregues 783 Kg em 3,8 horas, ou seja, 3 horas e 48 minutos.

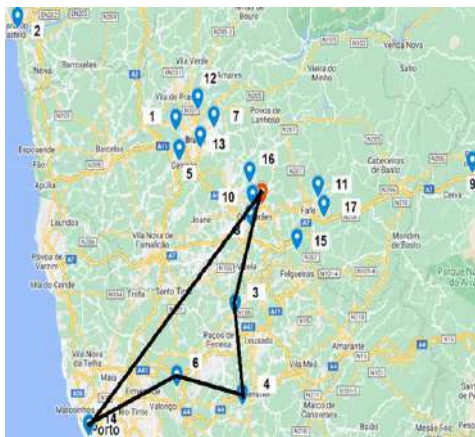
Na segunda rota foram visitados 5 clientes, percorridos 134,49 quilómetros e entregues 692 Kg em 2,44 horas, ou seja, 2 horas e 26 minutos.

Na terceira rota foram visitados 4 clientes, percorridos 83,7 quilómetros e entregues 2045 Kg em 2,16 horas, ou seja, 2 horas e 9 minutos.

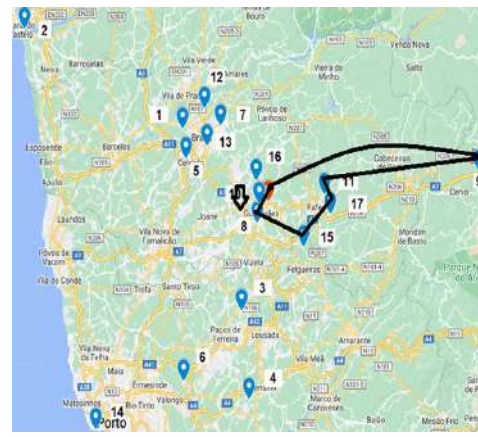
Na quarta rota foram visitados 4 clientes, percorridos 194,62 quilómetros e entregues 270 Kg em 3,32 horas, ou seja, 3 horas e 19 minutos.

Posto isto, obtém-se um tempo total de serviço de 11 horas e 43 minutos e uma distância total percorrida de 633,51 quilómetros associados a um custo total de 145,70€. Todas estas rotas podem ser observadas na Figura 56.

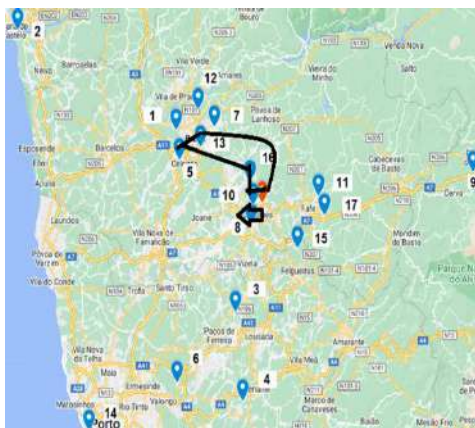
Importa ainda salientar, tal como se pode observar na terceira rota, que a carga máxima do camião (1314 quilogramas) é excedida em 731 quilogramas.



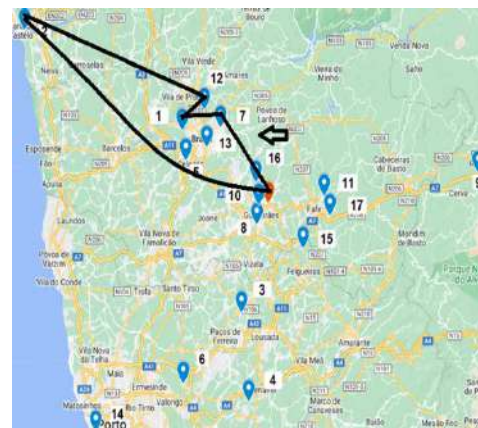
a) Rota 1



b) Rota 2



c) Rota 3



d) Rota 4

Figura 56 – Representação da melhor rota encontrada na realidade

4.5. Priorização de rotas

A organização não tem definido nenhum critério de priorização de rotas, fator este fundamental na decisão da ordem a seguir nas várias rotas apresentadas nas soluções das várias semanas. Posto isto, foi definido um critério de priorização de rotas baseado na análise ABC consoante a percentagem de vendas de cada cliente. Através desta análise é possível calcular a ponderação de cada rota no total da semana, dando prioridade às rotas com o

indicador mais elevado. A ponderação definida foi de 100% para os clientes do tipo A, 50% para os clientes do tipo B e 25% para os clientes do tipo C.

Para a Semana 1, utilizando os resultados do VRP Spreadsheet Solver (Figura 40), pode-se observar:

$$\text{Rota 1: } 0,02215*50 + 0,04785*100 + 0,069494*100 + 0,03292*100 + 0,00183*25 + 0,00304*25 + 0,01231*25 + 0,05138*100 + 0,0206*50 = 22,7314$$

$$\text{Rota 2: } 0,05357*100 + 0,001801*25 + 0,03166*50 + 0,006498*25 + 0,000158*25 = 25$$

$$\text{Rota 3: } 0,00176*25 + 0,066066*100 = 6,6506$$

$$\text{Rota 4: } 0,0139*50 + 0,014134*50 + 0,02953*50 = 2,8782$$

$$\text{Rota 5: } 0,0972*100 = 9,72$$

$$\text{Rota 6: } 10,54 + 0,01386*50 + 16,59 + 0,00763*25 + 0,011236*25 + 0,03536*25 + 10,554 + 0,0017627*25 = 39,7767$$

De seguida, importa normalizar os dados de cada rota:

$$\text{Rota 1: } 22,7314 / (22,7314 + 25 + 6,6506 + 2,8782 + 9,72 + 39,7767) = 0,25567$$

$$\text{Rota 2: } 7,15143 / 88,9083 = 0,08044$$

$$\text{Rota 3: } 6,6506 / 88,9083 = 0,0748$$

$$\text{Rota 4: } 2,8782 / 88,9083 = 0,03237$$

$$\text{Rota 5: } 9,72 / 88,9083 = 0,10933$$

$$\text{Rota 6: } 39,7767 / 88,9083 = 0,44739$$

Observa-se assim que as rotas da Semana 1 devem ser satisfeitas pela seguinte ordem:

Rota 6 – Rota 1 – Rota 5 – Rota 4 – Rota 2 – Rota 3.

Na Semana 2, através da Figura 45 pode-se observar:

$$\text{Rota 1: } 0,00158*25 = 0,0395$$

$$\text{Rota 2: } 0,00189*25 = 0,04725$$

$$\text{Rota 3: } 2,996 + 0,01408*50 + 0,0076484*25 + 0,01933*50 + 0,00135*25 + 7,1465 + 2,81 + 0,00894*50 + 0,007076*25 + 0,0003925*25 = 15,48167$$

$$\text{Rota 4: } 0,1319*100 + 0,1279*100 = 25,98$$

$$\text{Rota 5: } 0,02431*50 + 0,0066*25 + 0,011235*50 + 6,122 + 0,0164*50 + 9,317 + 10,26 + 0,0152542*50 = 29,22396$$

$$\text{Rota 6: } 0,00888286*25 + 0,00529*25 + 9,02 + 0,00701*25 + 6,49 + 0,02138*50 + 0,02247*50 = 18,23207$$

Na normalização de dados:

$$\text{Rota 1: } 0,0395 / (0,0395+0,04725+15,48167+25,98+29,22396+18,23207) = 0,00044$$

$$\text{Rota 2: } 0,04725 / 89,00445 = 0,00053$$

$$\text{Rota 3: } 15,48167 / 89,00445 = 0,1739$$

$$\text{Rota 4: } 25,98 / 89,00445 = 0,29189$$

$$\text{Rota 5: } 29,22396 / 89,00445 = 0,32834$$

$$\text{Rota 6: } 18,23207 / 89,00445 = 0,204844$$

Observa-se assim que as rotas devem ser satisfeitas pela ordem 5, 4, 6, 3, 2 e 1.

Na Semana 3, através da Figura 47 é possível observar:

$$\text{Rota 1: } 0,08944*100 + 0,0953*100 = 18,474$$

$$\text{Rota 2: } 0,011762*25 + 6,192 + 0,0445878*50 = 8,71544$$

$$\text{Rota 3: } 0,0533*100 + 0,0224106*25 = 5,89027$$

$$\text{Rota 4: } 9,35 + 21,83 + 0,0525*50 + 0,02721*25 + 18,57 + 0,0438*50 = 55,2453$$

Normalização de dados:

$$\text{Rota 1: } 18,474 / (18,474+8,71544+5,89027+55,2453) = 0,20916$$

$$\text{Rota 2: } 8,71544 / 88,325 = 0,09867$$

$$\text{Rota 3: } 5,89027 / 88,325 = 0,06669$$

$$\text{Rota 4: } 55,2453 / 88,325 = 0,62548$$

Observa-se assim que as rotas devem ser satisfeitas pela seguinte ordem: 4, 1, 2, 3.

Por último, a Semana 4 pode ser observada através da Figura 54:

$$\text{Rota 1: } 0,253*100 = 25,3$$

$$\text{Rota 2: } 0,0162*25 + 0,013*25 + 0,00133*25 + 0,01775*50 = 1,65075$$

$$\text{Rota 3: } 0,00755*25 + 0,0013258*25 + 0,00436*25 + 0,02927*50 = 1,7944$$

$$\text{Rota 4: } 0,04664*50 + 0,11745*100 + 0,008415*25 + 0,10614*100 + 0,053867*50 + 0,17306*100 + 0,124616*100 + 0,031903*50 = 58,9575$$

Normalização dos dados:

$$\text{Rota 1: } 25,3 / (25,3 + 1,65075 + 1,7944 + 58,9575) = 0,28847$$

$$\text{Rota 2: } 1,65075 / 87,7026 = 0,01882$$

$$\text{Rota 3: } 1,7944 / 87,7026 = 0,02046$$

$$\text{Rota 4: } 58,9575 / 87,7026 = 0,67224$$

Observa-se assim com apoio da Tabela 11 que as rotas deverão ser efetuadas pela seguinte ordem: 4, 1, 3, 2.

Tabela 11 - Priorização de rotas

| Cliente | Compras (%) | Classificação | Ponderação | Rota | Contribuição |
|---------|-------------|---------------|------------|------|--------------|
| 10 | 25,3 | A | 100 | 1 | 25,3 |
| 4 | 17,306 | A | | 4 | 17,306 |
| 3 | 12,4616 | A | | 4 | 12,4616 |
| 1 | 11,745 | A | | 4 | 11,745 |
| 14 | 10,614 | A | | 4 | 10,614 |
| 6 | 5,3867 | B | 50 | 4 | 2,69335 |
| 5 | 4,664 | B | | 4 | 2,332 |
| 8 | 3,1903 | B | | 4 | 1,59515 |
| 7 | 2,927 | B | | 3 | 1,4635 |
| 15 | 1,775 | B | | 2 | 0,8875 |
| 9 | 1,62 | C | 25 | 2 | 0,81 |
| 17 | 1,3 | C | | 2 | 0,65 |
| 16 | 0,755 | C | | 3 | 0,3775 |
| 2 | 0,8415 | C | | 4 | 0,42075 |
| 12 | 0,436 | C | | 3 | 0,218 |
| 11 | 0,133 | C | | 2 | 0,0665 |
| 13 | 0,13258 | C | | 3 | 0,06629 |

4.6. Comparação resultados

Neste capítulo serão apresentados os resultados e será realizada a comparação das diferentes soluções obtidas para os diversos modelos de uma mesma semana.

4.6.1. Semana 1

Comparando os custos totais da primeira semana através de cada modelo (Figura 57), pode confirmar-se que o VRP Spreadsheet Solver apresentou a melhor solução com um custo de 207,37€, seguido do VRPy, tanto no tempo total como a 60 segundos, com um custo de 216,36€. Por fim, a Heurística de Clarke e Wright apresentou a pior solução associada a um custo total de 227,31€.

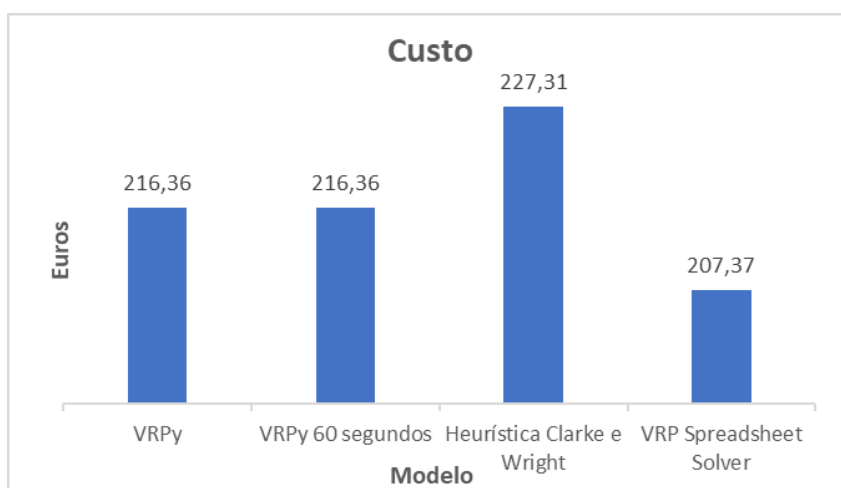


Figura 57 - Comparação Custo Semana 1

Relativamente à distância percorrida na primeira semana (Figura 58), o VRP Spreadsheet Solver apresentou o valor mais baixo de 901,6 quilómetros, seguido do VRPy com 921,027. A Heurística de Clarke e Wright apresentou um valor bem mais alto, neste caso de 995,509€.

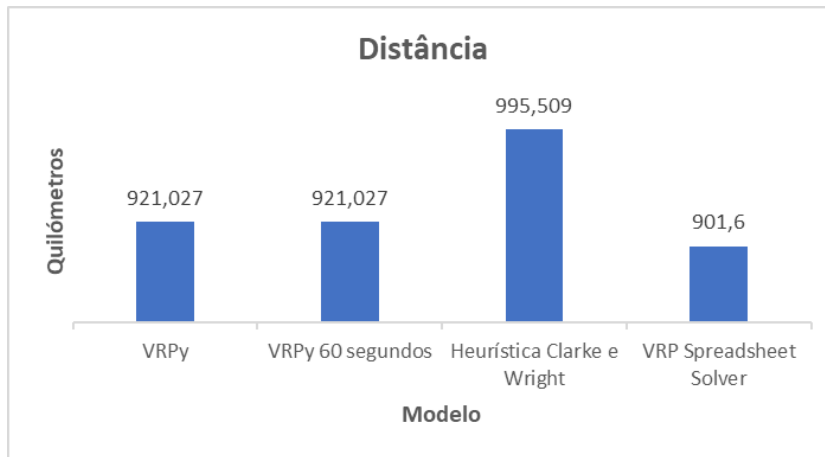


Figura 58 - Comparação Distância Semana 1

Em relação ao tempo total de trabalho (Figura 59), observa-se que o VRP Spreadsheet Solver encontra uma solução que satisfaz todos os clientes em apenas 16 horas e 37 minutos, 1 hora e 7 minutos a menos que o VRPy e 1 hora e 54 minutos a menos que a Heurística de Clarke e Wright.

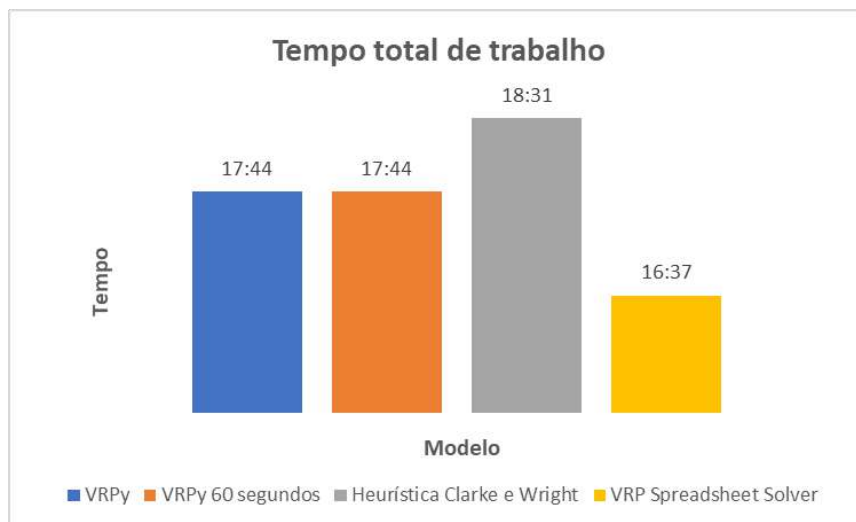


Figura 59 - Comparação Tempo Semana 1

4.6.2. Semana 2

Na Semana 2, como se pode observar na Figura 60, o VRP Spreadsheet Solver volta a ser o modelo a apresentar a melhor solução, neste caso associado a um custo de 180,52€. O VRPy tanto a 2 horas como a 60 segundos apresentou o mesmo resultado de 196,03€, o qual é inferior ao apresentado pela Heurística de Clarke e Wright (207,86€).

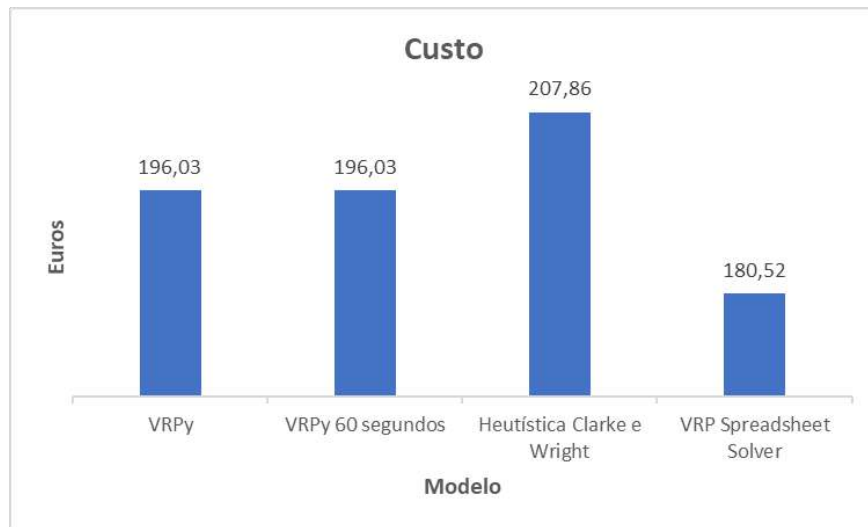


Figura 60 - Comparação Custo Semana 2

Em relação à distância (Figura 61), tal como no custo, devido à sua interligação, o VRP Spreadsheet Solver apresenta o menor valor de 784,89 quilómetros, menos 67,42 quilómetros que o VRPy e menos 118,84 quilómetros que a Heurística de Clarke e Wright.

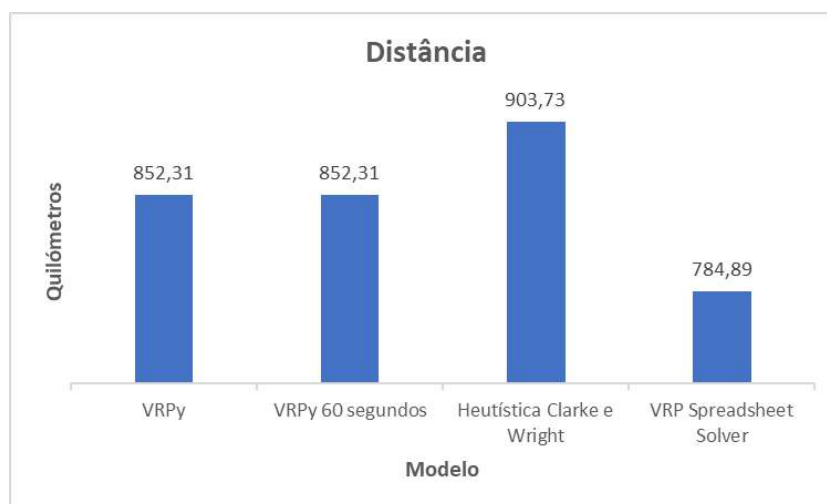


Figura 61 - Comparação Distância Semana 2

O tempo total necessário para satisfazer todos os clientes é de 15 horas e 21 minutos na solução do VRP Spreadsheet Solver, 16 horas e 53 minutos no VRPy e de 17 horas e 46 minutos na Heurística de Clarke e Wright. Observa-se que através da solução do VRP Spreadsheet Solver é possível poupar 1 hora e 32 minutos em relação ao VRPy e 2 horas e 25 em relação à heurística (Figura 62).

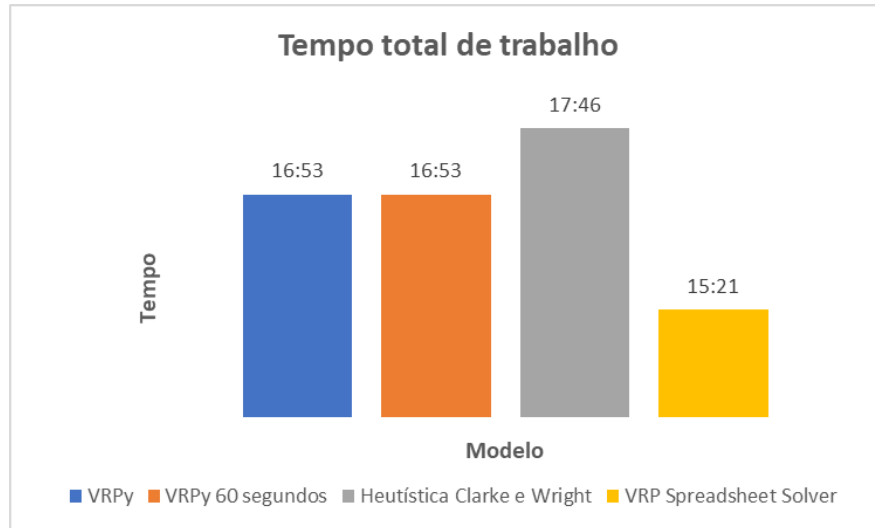


Figura 62 - Comparação Tempo Semana 2

4.6.3. Semana 3

Na Semana 3, tal como se pode observar na Figura 63, o VRP Spreadsheet Solver e o VRPy (tanto com o tempo de computação final como limitado a 60 segundos) apresentaram uma solução com o mesmo custo, neste caso de 118,58€. A Heurística de Clarke e Wright apresentou um valor um pouco mais elevado de 124,65€.

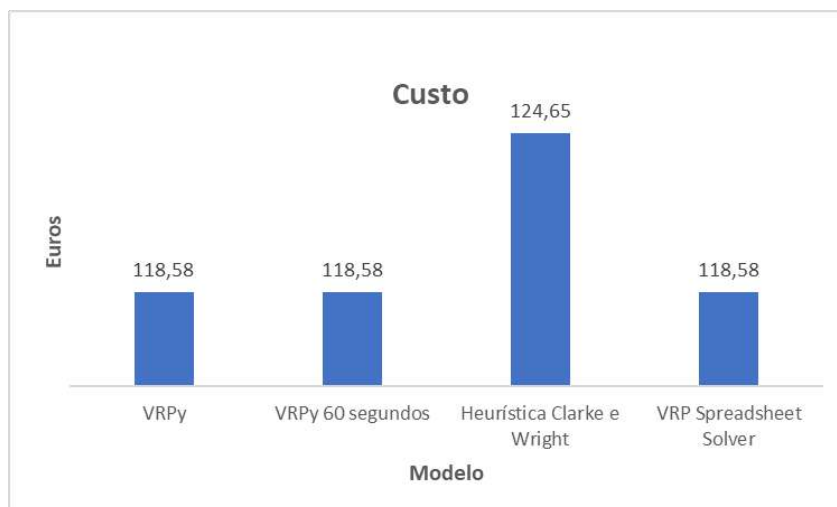


Figura 63 - Comparação Custo Semana 3

Em termos de distância o cenário mantém-se (Figura 64), sendo que o VRP Spreadsheet Solver e o VRPy apresenta a mesma solução com uma distância total percorrida de 515,55 quilômetros. A Heurística de Clarke e Wright apresenta uma rota um pouco mais longa com 541,93 quilômetros.

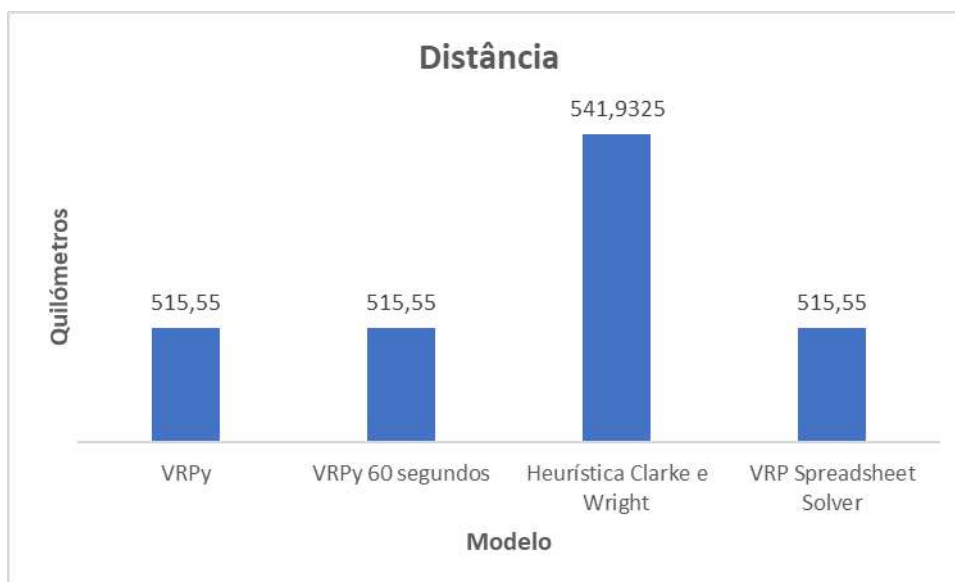


Figura 64 - Comparação Distância Semana 3

Em relação ao tempo necessário para visitar todos os clientes e voltar ao depósito (Figura 65), o VRPy e o VRP Spreadsheet Solver apresentam o mesmo valor, 9 horas e 4 minutos. Na Heurística de Clarke e Wright, a apresentada demora 9 horas e 41 minutos.

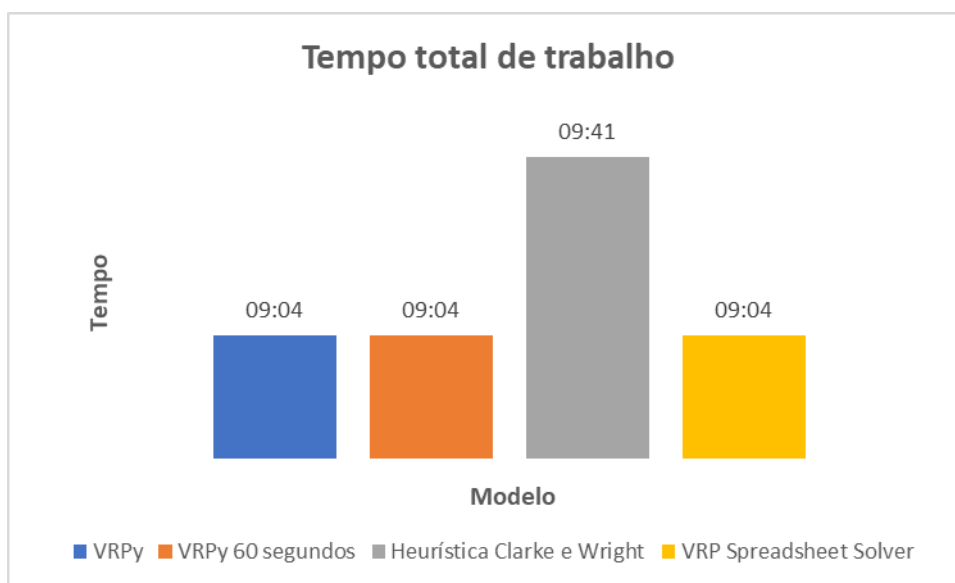


Figura 65 - Comparação Tempo Semana 3

4.6.4. Semana 4

Na quarta semana, tal como referido anteriormente, a Inoxtubo, S.A. disponibilizou as rotas realmente realizadas pelo veículo pretendido na semana em questão. Deste modo foi possível observar que os modelos utilizados encontraram soluções mais viáveis e menos dispendiosas do que as rotas realmente realizadas. Na realidade a empresa teve um custo total de 145,7€ para satisfazer os 17 clientes previstos para esta semana. Como se pode observar na Figura 66, qualquer que seja o modelo aplicado obteve um custo mais baixo do que o real. O VRPy, tanto normal como limitado a 60 segundos obteve uma solução com um custo de 109,57€, valor este muito próximo da solução fornecida pela Heurística de Clarke e Wright com um custo de 109,95€. O VRP Spreadsheet Solver volta a ser o modelo a oferecer a melhor solução, neste caso com um custo de 104,74€. Importa salientar que os resultados de Semana 4 na realidade não têm em conta o peso máximo que o camião pode transportar, sendo este excedido pontualmente, algo que não acontece nos modelos apresentados.

Observa-se que utilizando o VRP Spreadsheet Solver, a organização pouparia 40,96€ na semana em análise.

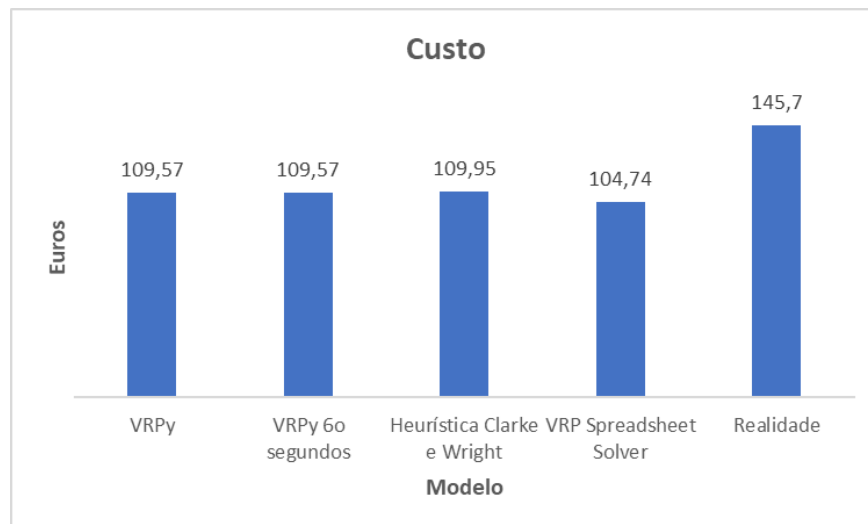


Figura 66 - Comparação Custo Semana 4

Em relação às distâncias pode observar-se que na realidade foram realizados 633,51 quilómetros. Segundo os modelos estudados, este valor está muito acima do necessário para satisfazer todos os clientes. O VRPy apresentou uma solução onde são percorridos 476,37 quilómetros, valor muito próximo do da Heurística de Clarke e Wright (478,06 quilómetros).

O VRP Spreadsheet Solver voltou a apresentar a melhor solução, neste caso com uma distância total de 455,4 quilómetros (Figura 67).

Comparando o VRP Spreadsheet Solver com a realidade, pode observar-se que foram realizados 178,11 quilómetros a mais do que o necessário.

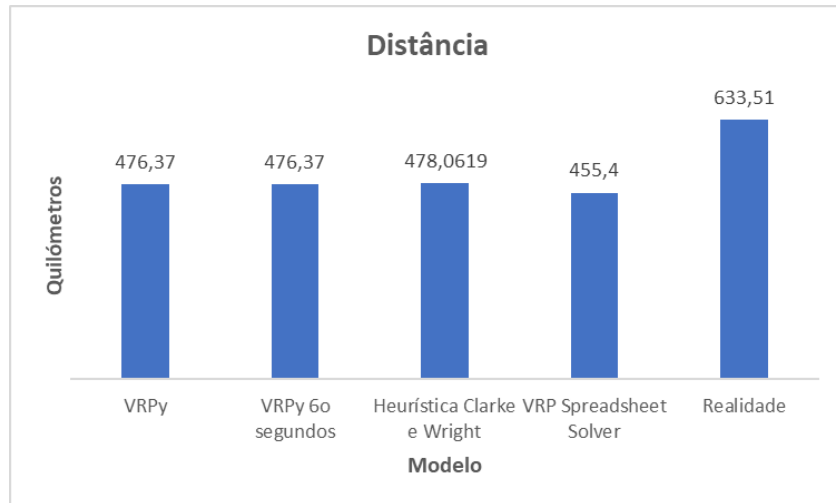


Figura 67 - Comparação Distância Semana 4

Observando a Figura 68 pode observar-se que foram necessárias 11 horas e 43 minutos para visitar todos os clientes da semana em questão. Aplicados os modelos, pode observar-se que este valor é muito acima do expectável, visto que a solução do VRPy apenas necessitava de 9 horas e 10 minutos, a Heurística de Clarke e Wright 9 horas e 12 minutos e o VRP Spreadsheet Solver de 8 horas e 49 minutos.

Observa-se que através do VRP Spreadsheet Solver a organização poderia poupar 2 horas e 54 minutos.

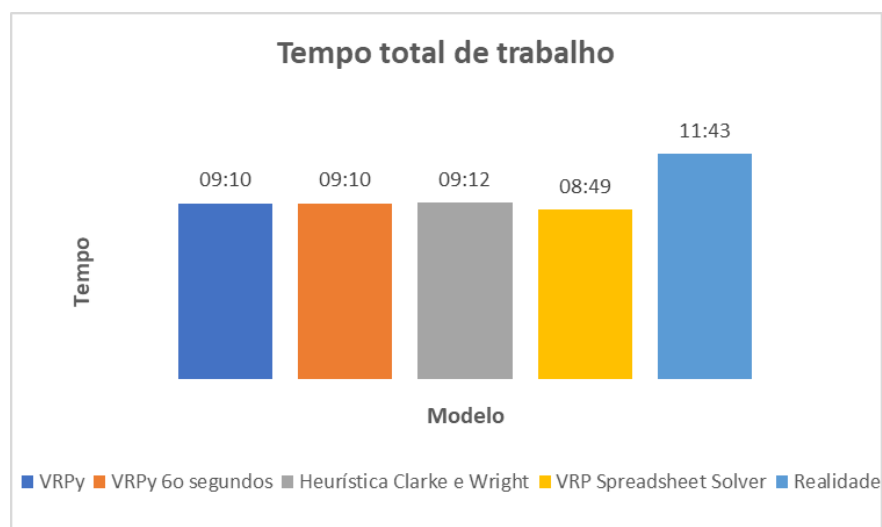


Figura 68 - Comparação Tempo Semana 4

5. Conclusões e trabalho futuro

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões consideradas de maior relevância no âmbito da presente dissertação, tendo em conta todo o trabalho realizado, sustentado pela revisão de literatura, metodologias e métodos e ainda pelo caso prático.

A Logística consiste em todas as atividades de movimentação e armazenagem que facilitam o fluxo de produtos desde o ponto de aquisição de matéria-prima até ao ponto de consumo final. Tendo em conta a definição anterior, o principal objetivo desta dissertação passou por perceber quais as atividades logísticas de uma determinada empresa que poderiam ter maior impacto em termos de poupança de tempo, mão-de-obra e consequentemente financeiras. Através do enquadramento teórico e de observação dos métodos de trabalho dos colaboradores da organização em questão, foi possível perceber as áreas em que o estudo e a implementação de melhorias faria mais sentido. Através desta análise foi possível observar que a organização poderia ter várias melhorias ao nível logístico, principalmente em questões como o processo de expedição de mercadorias, a organização dos armazéns e principalmente o planeamento de rotas dos veículos.

O processo de expedição de mercadorias da organização era desorganizado e por vezes um pouco mais demorado do que o suposto, motivo pelo qual foi implementada uma instrução de trabalho sobre a qual se teve de recorrer a um posterior questionário aos colaboradores de forma a quantificar o seu impacto. Através do questionário foi possível observar, segundo os colaboradores questionados, que a instrução de trabalho implementada teve um impacto positivo em termos de compreensão, utilidade, redução de tempo de execução do processo de expedição de mercadorias e incremento da autonomia e segurança dos colaboradores.

A organização dos armazéns da empresa não estava estruturada, principalmente devido à dificuldade dos colaboradores encontrarem os produtos pretendidos. Posto isto, recorreu-se à etiquetagem de todos os produtos no armazém e através da observação do tempo médio de recolha dos produtos antes e após etiquetagem, foi possível observar que a organização poderá poupar, por ano, 468,67€ com esta proposta de melhoria. Ainda na organização dos armazéns foram definidos os espaços de carga de cada veículo, facilitando a circulação dentro do armazém e reduzindo o número de erros cometidos.

O tema mais aprofundado nesta dissertação passa pela análise das propostas de melhoria para o planeamento da distribuição. Neste ponto, foi essencial definir o problema detalhadamente, definindo-se que cada colaborador trabalha no máximo 8 horas diárias, os

veículos devem voltar sempre para a sede no fim das suas rotas, os veículos circulam a uma velocidade média de 60 quilómetros por hora com um custo por quilómetro de 0,23€. Ainda nesta fase foi apresentado o tipo de veículo utilizado, com um volume de carga determinado por 4,7m de comprimento, 1,9m de largura e 2,3m de altura e uma carga útil de 1314 Kg. Por fim, definiu-se que os produtos serão categorizados em três grupos, caixas do tipo A com 20 quilogramas e caixas do tipo B com 25 quilogramas que demoram 30 segundos a serem carregadas/descarregadas e tubos que demoram 3 segundos a serem descarregados e têm um peso variável.

Para a resolução do problema em questão foram recolhidas as cargas de 4 semanas diferentes, de forma a perceber qual o modelo que poderia oferecer a melhor solução. Numa primeira fase recorreu-se a um método exato (Modelo de Programação Linear Inteira Mista), o qual apenas foi possível utilizar nos clientes A da análise ABC da Semana 3, dada a complexidade computacional do modelo em amostras superiores a 10 clientes.

Como métodos heurísticos foram utilizados o VRPy, a Heurística de Clarke e Wright e o VRP Spreadsheet Solver. Após a aplicação dos modelos nas 4 semanas em análise foi possível observar que o VRP Spreadsheet Solver conseguiu obter a melhor solução, ou seja, a solução associada ao menor custo possível em três das quatro semanas (1, 2 e 4). Na semana 3, a semana com menor número de clientes, foi possível observar que o VRPy e o VRP Spreadsheet Solver obtiveram a mesma solução, sendo que apenas a Heurística de Clarke e Wright obteve uma solução pior. Na Semana 4 foi possível analisar as rotas realmente realizadas pelos veículos da organização e comparar com as soluções fornecidas pelos modelos, podendo-se verificar que qualquer um dos modelos oferece uma solução melhor do que as rotas realmente realizadas, registando-se uma diferença de 40,96€ entre a melhor solução (VRP Spreadsheet Solver) e a realidade.

A presente dissertação apresenta observações fundamentadas e determinísticas, mas desperta a hipótese de aprofundar o tema e sincronizá-lo com outras abordagens. Seria de todo interessante criar uma ligação do *Vehicle Routing Problem* com o *Bin-Packing*, o qual consiste num problema de otimização onde vários produtos de diferentes dimensões devem ser armazenados num número finito de caixas, minimizando o número de caixas utilizadas. Desta forma, após a definição de rotas seria possível perceber a melhor forma de carregar os camiões, considerando o peso e dimensão de todos os produtos e não apenas o peso tal como na presente dissertação.

Referências

- Ballou, R. (2001). *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial* Ronald (Bookman, Ed.).
- Ballou, R. H. (2006). *Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial* (Bookman, Ed.).
- Bertaglia, P. R. (2016). *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Abastecimento*.
- Bramel, J., & Simchi-Levi, D. (1997). *The Logic of Logistics: Theory, Algorithms, and Applications for Logistics Management* (P. Glynn & S. Robinson, Eds.).
- Carvalho, J. (2017). *Logística e Gestão de Cadeia de Abastecimento* (Sílabo, Ed.).
- Carvalho, J. C. (2002). *Logística* (Sílabo, Ed.; 3rd ed.).
- Christofides, N., Mingozzi, A., & Toth, P. (1979). *The vehicle routing problem*. 315–338.
- Christopher, M. (1999). *Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégias para a redução de custos e melhoria dos serviços: Vol. cap. 1* (Pioneira, Ed.).
- Clark, F. E., & Black, J. D. (1923). Principles of Marketing. *Journal of Farm Economics*, 5(4), 233. <https://doi.org/10.2307/1230299>
- Converse, P. D. (2012). The Other Half of Marketing. In *The Roots of Logistics* (pp. 73–80). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-27922-5_6
- Copra, S., & Meindl, P. (2003). *Gerenciamento da cadeia de suprimentos* (Pearson, Ed.).
- Costa, J. (2021). *As 5 forças de Porter - como esta estratégia pode ajudar*.
- Cruz, J., Riera, D., Juan, A., Arias, P., & Guimarans, D. (2014). *Rich Vehicle Routing Problem: Survey*.
- Dalongaro, R. C., & Baggio, D. K. (2020). A gestão logística na cadeia de suprimentos e distribuição do setor supermercadista. *Revista GESTO*, 8(1), 12. <https://doi.org/10.31512/gesto.v8i1.3423>
- Drucker, P. F. (1962, April). The Economy's Dark Continent. *Fortune*.
- Erdoğan, G. (2017). An open source Spreadsheet Solver for Vehicle Routing Problems. *Computers & Operations Research*, 84, 62–72. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.02.022>
- Essen, H., Schrotten, A., Otten, M., & Sutter, D. (2008). *External costs of transport in Europe*.
- Fleury, P. F., Wanke, P., Figueiredo, K., & Rodrigues, A. (2000). *Logística empresarial: a perspectiva Brasileira* (Atlas, Ed.).
- Gama, M. (2011). *Roteirização de Veículos: Implementação e Melhoria do Método de Clarke & Wright*. Universidade Federal do Vale do Rio São Francisco.
- Garey, M., & Johnson, D. (1979). *Computers and Intracdtability: A Guide to the Theory of NP-Completeness January 1979*. Freeman.
- Gendreau, M., Hertz, A., & Laporte, G. (1994). A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem. *Management Science*, 40(10), 1276–1290. <https://doi.org/10.1287/mnsc.40.10.1276>
- Guimarans, D., Herrero, R., Riera, D., Juan, A. A., & Ramos, J. J. (2011). Combining probabilistic algorithms, Constraint Programming and Lagrangian Relaxation to solve the Vehicle Routing Problem. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 62(3–4), 299–315. <https://doi.org/10.1007/s10472-011-9261-y>
- Hentenryck, P. (1989). *Constraint Satisfaction in Logic Programming* (E. Shapiro, Ed.).
- Heskett, J., Robert, M. V., & Glaskowsky, J. (1964). *Business Logistics: Management of Physical Supply and Distribution*. New York: The Ronald Press.

- Heskett, James, L., Glaskowsky, & Nicholas, A. (1973). Business logistics; physical distribution and materials management . *Ronald Press Co.*, 14–21.
- Júnior, F. J. de F. (2017). A logística como forma de obter vantagem competitiva. *Revista Souza Marques*.
- Júnior, S. (2012). *Relatório de implantação do programa 5S*.
- Kobayashi. (1973). *Management of Physical Distribution Cost*.
- Kok, A. L., Meyer, C. M., Kopfer, H., & Schutten, J. M. J. (2010). A Dynamic Programming Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Time Windows and European Community Social Legislation. *Transportation Science*, 44(4), 442–454. <https://doi.org/10.1287/trsc.1100.0331>
- Lamber, D. M., Marta, C. C., & Janus, D. P. (1998). Supply Chain Management: Implementation and Research Opportunities. *The International Journal of Logistics Management*, 9, 1–19.
- Lambert, D. M., & Cooper, M. C. (2000). Issues in Supply Chain Management. *Industrial Marketing Management*, 29, 65–83.
- Laporte, G. (1992). The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, 59(3), 345–358. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(92\)90192-C](https://doi.org/10.1016/0377-2217(92)90192-C)
- Laporte, G. (2007). *What You Should Know about the Vehicle Routing Problem*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/nav.20261>
- Lewis, H. (1957). Book Review: The Role of Air Freight in Physical Distribution. *Journal of Marketing*, 22(1), 109–110. <https://doi.org/10.1177/002224295702200117>
- Machado, G. S. (2022). Panorama da evolução na logística: o caso brasileiro. In *Engenharia de Produção: novas fronteiras, soluções, problemas e desafios 2* (pp. 53–67). AYA Editora. <https://doi.org/10.47573/aya.5379.2.57.5>
- Maestrini V., Luzzini D., Shani A., & Canterino F. (2016). The action research cycle reloaded: Conducting action research across buyer-supplier relationships. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 289–298.
- Magee, J. (1977). *Logística Industrial - Análise e Administração dos Sistemas de Suprimento e Distribuição* (Genérico, Ed.).
- Matos, P. (2018). *Curva ABC: Entenda e Aplique esta importante metodologia, ao seu negócio e seja mais competitivo!*
- Michalska, J., & Szewieczek, D. (2007). The 5S methodology as a tool for improving the organisation. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 24(2).
- Miki Matsubara, R. (2003). *Os Conceitos do 5s Incorporados às Práticas Diárias do Departamento de Aprovação de Projetos*.
- Milani, A. A., Gaspar, V., Albrech, A. J. P., Fausto, D. A., & Migliavacca, R. A. (2015). Processo de gestão da carteira de clientes. *Revista IPecege*, 1(2), 169–186. <https://doi.org/10.22167/r.ipecege.2015.2.169>
- Miller, C. E., Tucker, A. W., & Zemlin, R. A. (1960). Integer Programming Formulation of Traveling Salesman Problems. *Journal of the ACM*, 7(4), 326–329. <https://doi.org/10.1145/321043.321046>
- Moura, A. (2022). *Otimização Combinatória e Programação Linear* (E. Sílabo, Ed.).
- Moura, R. A. (1998). *Check sua logística interna* (IMAM, Ed.).
- Murphy, G. J. (1972). *Transport and Distribution* (Random House Business Books, Ed.).
- Novaes, A. G. (2004). *Logística e gerenciarneto da cadeia de distribuição* (Campus, Ed.; 4th ed.).
- Pires de Oliveira, D. (2016). *Aplicação do programa 5S em uma instituição financeira*.

- Pisinger, D., & Ropke, S. (2007). A general heuristic for vehicle routing problems. *Computers & Operations Research*, 34(8), 2403–2435. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2005.09.012>
- Porter, M. E. (1986). *Estratégia Competitiva: técnicas para análise de indústrias e da concorrência* (Campus, Ed.).
- Porter, M. E. (1989). *Vantagem competitiva: criando e sustentando um desempenho superior* (Campus, Ed.).
- Porter, M. E. (1997). Competitive strategy. *Measuring Business Excellence*.
- Sacomano, J. B. (2004). *Administração de produção na construção civil: o gerenciamento de obras baseado em critérios competitivos*.
- Santos, J., Santos, A., & Berto, A. (2009). *Logística: Evolução e Perspetiva*.
- Sequeira, F. (1999). Suplemento Carga & Transportes . *Público*.
- Serio, L., Sampaio, M., & Pereira, S. (2007). *A evolução dos conceitos de logística: um estudo na cadeia automobilística no Brasil*. 125–141.
- Shaw, A. W. (1912). Some Problems in Market Distribution. *The Quarterly Journal of Economics*, 26(4), 703. <https://doi.org/10.2307/1883802>
- Sinha, K. C., & Labi, S. (2007). *Transportation Decision Making*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470168073>
- Sousa, P. T. de. (2012). Logística interna: O princípio da logística organizacional está na administração dos recursos materiais e patrimoniais (ARMP). *FacMais*.
- Sousa, M. (2015). *Gestão de armazéns e logística interna*. FEUP.
- Stephenson, A. R. (1975). *A Regional Survey of Physical Distribution Problems and Practice*. 7–10.
- Talbi, E.-G. (2009). *Metaheuristics*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9780470496916>
- Tixier, D., Mathe, H., & Collin, J. (1986). *A Logística na Empresa* (Rés Formalpress, Ed.).
- Uelze, R. (1974). *Logística empresarial: uma introdução à administração dos transportes*.
- Vieira, C. L. dos S., & Rodriguez, C. M. T. (2011). Uma perspectiva sobre o desenvolvimento do conceito de Logística. *XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO*.
- Wang, X. (2006). Value Added on Food Traceability: a Supply Chain Management Approach. *2006 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics*, 493–498. <https://doi.org/10.1109/SOLI.2006.329074>
- Yoshino, M. (1997). *Alianças Estratégicas – Uma Abordagem Empresarial à Globalização*.

Apêndice A

$$\text{min: } 0.0x_{0_0_0} + 11.217x_{0_1_0} + 8.491x_{0_2_0} + 1.817x_{0_3_0} + 12.889x_{0_4_0} + 13.825x_{0_5_0} + 2.982x_{0_6_0} + 2.958x_{0_7_0} + 11.244x_{1_0_0} + 0.0x_{1_1_0} + 15.515x_{1_2_0} + 9.043x_{1_3_0} + 7.14x_{1_4_0} + 9.671x_{1_5_0} + 12.445x_{1_6_0} + 10.942x_{1_7_0} + 8.626x_{2_0_0} + 15.521x_{2_1_0} + 0.0x_{2_2_0} + 8.169x_{2_3_0} + 20.12x_{2_4_0} + 21.056x_{2_5_0} + 11.612x_{2_6_0} + 5.689x_{2_7_0} + 1.9x_{3_0_0} + 9.274x_{3_1_0} + 8.118x_{3_2_0} + 0.0x_{3_3_0} + 14.28x_{3_4_0} + 15.216x_{3_5_0} + 4.373x_{3_6_0} + 2.585x_{3_7_0} + 12.694x_{4_0_0} + 7.27x_{4_1_0} + 19.769x_{4_2_0} + 13.965x_{4_3_0} + 0.0x_{4_4_0} + 3.717x_{4_5_0} + 10.403x_{4_6_0} + 15.196x_{4_7_0} + 14.026x_{5_0_0} + 9.74x_{5_1_0} + 21.101x_{5_2_0} + 15.296x_{5_3_0} + 3.82x_{5_4_0} + 0.0x_{5_5_0} + 11.735x_{5_6_0} + 16.528x_{5_7_0} + 2.95x_{6_0_0} + 12.106x_{6_1_0} + 11.519x_{6_2_0} + 4.221x_{6_3_0} + 10.801x_{6_4_0} + 11.737x_{6_5_0} + 0.0x_{6_6_0} + 6.946x_{6_7_0} + 3.266x_{7_0_0} + 10.871x_{7_1_0} + 5.694x_{7_2_0} + 2.809x_{7_3_0} + 15.47x_{7_4_0} + 16.406x_{7_5_0} + 6.962x_{7_6_0} + 0.0x_{7_7_0} + 11.217x_{0_1_1} + 8.491x_{0_2_1} + 1.817x_{0_3_1} + 12.889x_{0_4_1} + 13.825x_{0_5_1} + 2.982x_{0_6_1} + 2.958x_{0_7_1} + 11.244x_{1_0_1} + 0.0x_{1_1_1} + 15.515x_{1_2_1} + 9.043x_{1_3_1} + 7.14x_{1_4_1} + 9.671x_{1_5_1} + 12.445x_{1_6_1} + 10.942x_{1_7_1} + 8.626x_{2_0_1} + 15.521x_{2_1_1} + 0.0x_{2_2_1} + 8.169x_{2_3_1} + 20.12x_{2_4_1} + 21.056x_{2_5_1} + 11.612x_{2_6_1} + 5.689x_{2_7_1} + 1.9x_{3_0_1} + 9.274x_{3_1_1} + 8.118x_{3_2_1} + 0.0x_{3_3_1} + 14.28x_{3_4_1} + 15.216x_{3_5_1} + 4.373x_{3_6_1} + 2.585x_{3_7_1} + 12.694x_{4_0_1} + 7.27x_{4_1_1} + 19.769x_{4_2_1} + 13.965x_{4_3_1} + 0.0x_{4_4_1} + 3.717x_{4_5_1} + 10.403x_{4_6_1} + 15.196x_{4_7_1} + 14.026x_{5_0_1} + 9.74x_{5_1_1} + 21.101x_{5_2_1} + 15.296x_{5_3_1} + 3.82x_{5_4_1} + 0.0x_{5_5_1} + 11.735x_{5_6_1} + 16.528x_{5_7_1} + 2.95x_{6_0_1} + 12.106x_{6_1_1} + 11.519x_{6_2_1} + 4.221x_{6_3_1} + 10.801x_{6_4_1} + 11.737x_{6_5_1} + 0.0x_{6_6_1} + 6.946x_{6_7_1} + 3.266x_{7_0_1} + 10.871x_{7_1_1} + 5.694x_{7_2_1} + 2.809x_{7_3_1} + 15.47x_{7_4_1} + 16.406x_{7_5_1} + 6.962x_{7_6_1} + 0.0x_{7_7_1};$$

$$\text{leave_client_0_0: } x_{0_0_0} + x_{1_0_0} + x_{2_0_0} + x_{3_0_0} + x_{4_0_0} + x_{5_0_0} + x_{6_0_0} + x_{7_0_0} = x_{0_0_0} + x_{0_1_0} + x_{0_2_0} + x_{0_3_0} + x_{0_4_0} + x_{0_5_0} + x_{0_6_0} + x_{0_7_0};$$

$$\text{leave_client_1_0: } x_{0_1_0} + x_{1_1_0} + x_{2_1_0} + x_{3_1_0} + x_{4_1_0} + x_{5_1_0} + x_{6_1_0} + x_{7_1_0} = x_{1_0_0} + x_{1_1_0} + x_{1_2_0} + x_{1_3_0} + x_{1_4_0} + x_{1_5_0} + x_{1_6_0} + x_{1_7_0};$$

$$\text{leave_client_2_0: } x_{0_2_0} + x_{1_2_0} + x_{2_2_0} + x_{3_2_0} + x_{4_2_0} + x_{5_2_0} + x_{6_2_0} + x_{7_2_0} = x_{2_0_0} + x_{2_1_0} + x_{2_2_0} + x_{2_3_0} + x_{2_4_0} + x_{2_5_0} + x_{2_6_0} + x_{2_7_0};$$

$$\text{leave_client_3_0: } x_{0_3_0} + x_{1_3_0} + x_{2_3_0} + x_{3_3_0} + x_{4_3_0} + x_{5_3_0} + x_{6_3_0} + x_{7_3_0} = x_{3_0_0} + x_{3_1_0} + x_{3_2_0} + x_{3_3_0} + x_{3_4_0} + x_{3_5_0} + x_{3_6_0} + x_{3_7_0};$$

$$\text{leave_client_4_0: } x_{0_4_0} + x_{1_4_0} + x_{2_4_0} + x_{3_4_0} + x_{4_4_0} + x_{5_4_0} + x_{6_4_0} + x_{7_4_0} = x_{4_0_0} + x_{4_1_0} + x_{4_2_0} + x_{4_3_0} + x_{4_4_0} + x_{4_5_0} + x_{4_6_0} + x_{4_7_0};$$

$$\text{leave_client_5_0: } x_{0_5_0} + x_{1_5_0} + x_{2_5_0} + x_{3_5_0} + x_{4_5_0} + x_{5_5_0} + x_{6_5_0} + x_{7_5_0} = x_{5_0_0} + x_{5_1_0} + x_{5_2_0} + x_{5_3_0} + x_{5_4_0} + x_{5_5_0} + x_{5_6_0} + x_{5_7_0};$$

$$\text{leave_client_6_0: } x_{0_6_0} + x_{1_6_0} + x_{2_6_0} + x_{3_6_0} + x_{4_6_0} + x_{5_6_0} + x_{6_6_0} + x_{7_6_0} = x_{6_0_0} + x_{6_1_0} + x_{6_2_0} + x_{6_3_0} + x_{6_4_0} + x_{6_5_0} + x_{6_6_0} + x_{6_7_0};$$

$$\text{leave_client_7_0: } x_{0_7_0} + x_{1_7_0} + x_{2_7_0} + x_{3_7_0} + x_{4_7_0} + x_{5_7_0} + x_{6_7_0} + x_{7_7_0} = x_{7_0_0} + x_{7_1_0} + x_{7_2_0} + x_{7_3_0} + x_{7_4_0} + x_{7_5_0} + x_{7_6_0} + x_{7_7_0};$$

$$\text{leave_client_0_1: } x_{0_0_1} + x_{1_0_1} + x_{2_0_1} + x_{3_0_1} + x_{4_0_1} + x_{5_0_1} + x_{6_0_1} + x_{7_0_1} = x_{0_0_1} + x_{0_1_1} + x_{0_2_1} + x_{0_3_1} + x_{0_4_1} + x_{0_5_1} + x_{0_6_1} + x_{0_7_1};$$

$$\text{leave_client_1_1: } x_{0_1_1} + x_{1_1_1} + x_{2_1_1} + x_{3_1_1} + x_{4_1_1} + x_{5_1_1} + x_{6_1_1} + x_{7_1_1} = x_{1_0_1} + x_{1_1_1} + x_{1_2_1} + x_{1_3_1} + x_{1_4_1} + x_{1_5_1} + x_{1_6_1} + x_{1_7_1};$$

$$\text{leave_client_2_1: } x_{0_2_1} + x_{1_2_1} + x_{2_2_1} + x_{3_2_1} + x_{4_2_1} + x_{5_2_1} + x_{6_2_1} + x_{7_2_1} = x_{2_0_1} + x_{2_1_1} + x_{2_2_1} + x_{2_3_1} + x_{2_4_1} + x_{2_5_1} + x_{2_6_1} + x_{2_7_1};$$

$$\text{leave_client_3_1: } x_{0_3_1} + x_{1_3_1} + x_{2_3_1} + x_{3_3_1} + x_{4_3_1} + x_{5_3_1} + x_{6_3_1} + x_{7_3_1} = x_{3_0_1} + x_{3_1_1} + x_{3_2_1} + x_{3_3_1} + x_{3_4_1} + x_{3_5_1} + x_{3_6_1} + x_{3_7_1};$$

$$\text{leave_client_4_1: } x_{0_4_1} + x_{1_4_1} + x_{2_4_1} + x_{3_4_1} + x_{4_4_1} + x_{5_4_1} + x_{6_4_1} + x_{7_4_1} = x_{4_0_1} + x_{4_1_1} + x_{4_2_1} + x_{4_3_1} + x_{4_4_1} + x_{4_5_1} + x_{4_6_1} + x_{4_7_1};$$

$$\text{leave_client_5_1: } x_{0_5_1} + x_{1_5_1} + x_{2_5_1} + x_{3_5_1} + x_{4_5_1} + x_{5_5_1} + x_{6_5_1} + x_{7_5_1} = x_{5_0_1} + x_{5_1_1} + x_{5_2_1} + x_{5_3_1} + x_{5_4_1} + x_{5_5_1} + x_{5_6_1} + x_{5_7_1};$$

$$\text{leave_client_6_1: } x_{0_6_1} + x_{1_6_1} + x_{2_6_1} + x_{3_6_1} + x_{4_6_1} + x_{5_6_1} + x_{6_6_1} + x_{7_6_1} = x_{6_0_1} + x_{6_1_1} + x_{6_2_1} + x_{6_3_1} + x_{6_4_1} + x_{6_5_1} + x_{6_6_1} + x_{6_7_1};$$

$$\text{leave_client_7_1: } x_{0_7_1} + x_{1_7_1} + x_{2_7_1} + x_{3_7_1} + x_{4_7_1} + x_{5_7_1} + x_{6_7_1} + x_{7_7_1} = x_{7_0_1} + x_{7_1_1} + x_{7_2_1} + x_{7_3_1} + x_{7_4_1} + x_{7_5_1} + x_{7_6_1} + x_{7_7_1};$$

$$\text{reach_client_1: } x_{0_1_0} + x_{0_1_1} + x_{1_1_0} + x_{1_1_1} + x_{2_1_0} + x_{2_1_1} + x_{3_1_0} + x_{3_1_1} + x_{4_1_0} + x_{4_1_1} + x_{5_1_0} + x_{5_1_1} + x_{6_1_0} + x_{6_1_1} + x_{7_1_0} + x_{7_1_1} = 1;$$

$$\text{reach_client_2: } x_{0_2_0} + x_{0_2_1} + x_{1_2_0} + x_{1_2_1} + x_{2_2_0} + x_{2_2_1} + x_{3_2_0} + x_{3_2_1} + x_{4_2_0} + x_{4_2_1} + x_{5_2_0} + x_{5_2_1} + x_{6_2_0} + x_{6_2_1} + x_{7_2_0} + x_{7_2_1} = 1;$$

$$\text{reach_client_3: } x_{0_3_0} + x_{0_3_1} + x_{1_3_0} + x_{1_3_1} + x_{2_3_0} + x_{2_3_1} + x_{3_3_0} + x_{3_3_1} + x_{4_3_0} + x_{4_3_1} + x_{5_3_0} + x_{5_3_1} + x_{6_3_0} + x_{6_3_1} + x_{7_3_0} + x_{7_3_1} = 1;$$

$$\text{reach_client_4: } x_{0_4_0} + x_{0_4_1} + x_{1_4_0} + x_{1_4_1} + x_{2_4_0} + x_{2_4_1} + x_{3_4_0} + x_{3_4_1} + x_{4_4_0} + x_{4_4_1} + x_{5_4_0} + x_{5_4_1} + x_{6_4_0} + x_{6_4_1} + x_{7_4_0} + x_{7_4_1} = 1;$$

$$\text{reach_client_5: } x_{0_5_0} + x_{0_5_1} + x_{1_5_0} + x_{1_5_1} + x_{2_5_0} + x_{2_5_1} + x_{3_5_0} + x_{3_5_1} + x_{4_5_0} + x_{4_5_1} + x_{5_5_0} + x_{5_5_1} + x_{6_5_0} + x_{6_5_1} + x_{7_5_0} + x_{7_5_1} = 1;$$

$$\text{reach_client_6: } x_{0_6_0} + x_{0_6_1} + x_{1_6_0} + x_{1_6_1} + x_{2_6_0} + x_{2_6_1} + x_{3_6_0} + x_{3_6_1} + x_{4_6_0} + x_{4_6_1} + x_{5_6_0} + x_{5_6_1} + x_{6_6_0} + x_{6_6_1} + x_{7_6_0} + x_{7_6_1} = 1;$$

$$\text{reach_client_7: } x_{0_7_0} + x_{0_7_1} + x_{1_7_0} + x_{1_7_1} + x_{2_7_0} + x_{2_7_1} + x_{3_7_0} + x_{3_7_1} + x_{4_7_0} + x_{4_7_1} + x_{5_7_0} + x_{5_7_1} + x_{6_7_0} + x_{6_7_1} + x_{7_7_0} + x_{7_7_1} = 1;$$

$$\text{vehicle_leave_depot_0: } x_{0_1_0} + x_{0_2_0} + x_{0_3_0} + x_{0_4_0} + x_{0_5_0} + x_{0_6_0} + x_{0_7_0} = 1 \text{ y}_0;$$

$$\text{vehicle_leave_depot_1: } x_{0_1_1} + x_{0_2_1} + x_{0_3_1} + x_{0_4_1} + x_{0_5_1} + x_{0_6_1} + x_{0_7_1} = 1 \text{ y}_1;$$

$$\text{vehicle_delivery_0: } 137.0x_{0_1_0} + 49.5x_{0_2_0} + 399.0x_{0_3_0} + 150.0x_{0_4_0} + 1150.0x_{0_5_0} + 173.0x_{0_6_0} + 80.0x_{0_7_0} + 137.0x_{1_1_0} + 49.5x_{1_2_0} + 399.0x_{1_3_0} + 150.0x_{1_4_0} + 1150.0x_{1_5_0} + 173.0x_{1_6_0} + 80.0x_{1_7_0} + 137.0x_{2_1_0} + 49.5x_{2_2_0} + 399.0x_{2_3_0} + 150.0x_{2_4_0} + 1150.0x_{2_5_0} + 173.0x_{2_6_0} + 80.0x_{2_7_0} + 137.0x_{3_1_0} + 49.5x_{3_2_0} + 399.0x_{3_3_0} + 150.0x_{3_4_0} + 1150.0x_{3_5_0} + 173.0x_{3_6_0} + 80.0x_{3_7_0} + 137.0x_{4_1_0} + 49.5x_{4_2_0} + 399.0x_{4_3_0} + 150.0x_{4_4_0} + 1150.0x_{4_5_0} + 173.0x_{4_6_0} + 80.0x_{4_7_0} + 137.0x_{5_1_0} + 49.5x_{5_2_0} + 399.0x_{5_3_0} + 150.0x_{5_4_0} + 1150.0x_{5_5_0} + 173.0x_{5_6_0} + 80.0x_{5_7_0} + 137.0x_{6_1_0} + 49.5x_{6_2_0} + 399.0x_{6_3_0} + 150.0x_{6_4_0} + 1150.0x_{6_5_0} + 173.0x_{6_6_0} + 80.0x_{6_7_0} + 137.0x_{7_1_0} + 49.5x_{7_2_0} + 399.0x_{7_3_0} + 150.0x_{7_4_0} + 1150.0x_{7_5_0} + 173.0x_{7_6_0} + 80.0x_{7_7_0} \leq 1314;$$

$$\text{vehicle_delivery_1: } 137.0x_{0_1_1} + 49.5x_{0_2_1} + 399.0x_{0_3_1} + 150.0x_{0_4_1} + 1150.0x_{0_5_1} + 173.0x_{0_6_1} + 80.0x_{0_7_1} + 137.0x_{1_1_1} + 49.5x_{1_2_1} + 399.0x_{1_3_1} + 150.0x_{1_4_1} + 1150.0x_{1_5_1} + 173.0x_{1_6_1} + 80.0x_{1_7_1} + 137.0x_{2_1_1} + 49.5x_{2_2_1} + 399.0x_{2_3_1} + 150.0x_{2_4_1} + 1150.0x_{2_5_1} + 173.0x_{2_6_1} + 80.0x_{2_7_1} + 137.0x_{3_1_1} + 49.5x_{3_2_1} + 399.0x_{3_3_1} + 150.0x_{3_4_1}$$

+ 1150.0 x_3_5_1 + 173.0 x_3_6_1 + 80.0 x_3_7_1 + 137.0 x_4_1_1 + 49.5 x_4_2_1 + 399.0 x_4_3_1 + 150.0 x_4_4_1 + 1150.0 x_4_5_1 + 173.0 x_4_6_1 + 80.0 x_4_7_1 + 137.0 x_5_1_1 + 49.5 x_5_2_1 + 399.0 x_5_3_1 + 150.0 x_5_4_1 + 1150.0 x_5_5_1 + 173.0 x_5_6_1 + 80.0 x_5_7_1 + 137.0 x_6_1_1 + 49.5 x_6_2_1 + 399.0 x_6_3_1 + 150.0 x_6_4_1 + 1150.0 x_6_5_1 + 173.0 x_6_6_1 + 80.0 x_6_7_1 + 137.0 x_7_1_1 + 49.5 x_7_2_1 + 399.0 x_7_3_1 + 150.0 x_7_4_1 + 1150.0 x_7_5_1 + 173.0 x_7_6_1 + 80.0 x_7_7_1 <= 1314;

vehicle_delivery_time_0: 0.851 x_0_1_0 + 0.624 x_0_2_0 + 0.189 x_0_3_0 + 0.954 x_0_4_0 + 1.168 x_0_5_0 + 0.241 x_0_6_0 + 0.231 x_0_7_0 + 0.038 x_1_1_0 + 1.133 x_1_2_0 + 0.713 x_1_3_0 + 0.538 x_1_4_0 + 0.867 x_1_5_0 + 0.926 x_1_6_0 + 0.81 x_1_7_0 + 1.163 x_2_1_0 + 0.009 x_2_2_0 + 0.649 x_2_3_0 + 1.478 x_2_4_0 + 1.692 x_2_5_0 + 0.866 x_2_6_0 + 0.429 x_2_7_0 + 0.71 x_3_1_0 + 0.597 x_3_2_0 + 0.058 x_3_3_0 + 1.055 x_3_4_0 + 1.269 x_3_5_0 + 0.341 x_3_6_0 + 0.204 x_3_7_0 + 0.565 x_4_1_0 + 1.442 x_4_2_0 + 1.069 x_4_3_0 + 0.02 x_4_4_0 + 0.436 x_4_5_0 + 0.778 x_4_6_0 + 1.118 x_4_7_0 + 0.744 x_5_1_0 + 1.538 x_5_2_0 + 1.166 x_5_3_0 + 0.297 x_5_4_0 + 0.167 x_5_5_0 + 0.875 x_5_6_0 + 1.214 x_5_7_0 + 0.916 x_6_1_0 + 0.844 x_6_2_0 + 0.363 x_6_3_0 + 0.803 x_6_4_0 + 1.017 x_6_5_0 + 0.024 x_6_6_0 + 0.52 x_6_7_0 + 0.826 x_7_1_0 + 0.422 x_7_2_0 + 0.261 x_7_3_0 + 1.141 x_7_4_0 + 1.356 x_7_5_0 + 0.529 x_7_6_0 + 0.017 x_7_7_0 + 0.815 x_1_0_0 + 0.625 x_2_0_0 + 0.138 x_3_0_0 + 0.92 x_4_0_0 + 1.016 x_5_0_0 + 0.214 x_6_0_0 + 0.237 x_7_0_0 <= 8;

vehicle_delivery_time_1: 0.851 x_0_1_1 + 0.624 x_0_2_1 + 0.189 x_0_3_1 + 0.954 x_0_4_1 + 1.168 x_0_5_1 + 0.241 x_0_6_1 + 0.231 x_0_7_1 + 0.038 x_1_1_1 + 1.133 x_1_2_1 + 0.713 x_1_3_1 + 0.538 x_1_4_1 + 0.867 x_1_5_1 + 0.926 x_1_6_1 + 0.81 x_1_7_1 + 1.163 x_2_1_1 + 0.009 x_2_2_1 + 0.649 x_2_3_1 + 1.478 x_2_4_1 + 1.692 x_2_5_1 + 0.866 x_2_6_1 + 0.429 x_2_7_1 + 0.71 x_3_1_1 + 0.597 x_3_2_1 + 0.058 x_3_3_1 + 1.055 x_3_4_1 + 1.269 x_3_5_1 + 0.341 x_3_6_1 + 0.204 x_3_7_1 + 0.565 x_4_1_1 + 1.442 x_4_2_1 + 1.069 x_4_3_1 + 0.02 x_4_4_1 + 0.436 x_4_5_1 + 0.778 x_4_6_1 + 1.118 x_4_7_1 + 0.744 x_5_1_1 + 1.538 x_5_2_1 + 1.166 x_5_3_1 + 0.297 x_5_4_1 + 0.167 x_5_5_1 + 0.875 x_5_6_1 + 1.214 x_5_7_1 + 0.916 x_6_1_1 + 0.844 x_6_2_1 + 0.363 x_6_3_1 + 0.803 x_6_4_1 + 1.017 x_6_5_1 + 0.024 x_6_6_1 + 0.52 x_6_7_1 + 0.826 x_7_1_1 + 0.422 x_7_2_1 + 0.261 x_7_3_1 + 1.141 x_7_4_1 + 1.356 x_7_5_1 + 0.529 x_7_6_1 + 0.017 x_7_7_1 + 0.815 x_1_0_1 + 0.625 x_2_0_1 + 0.138 x_3_0_1 + 0.92 x_4_0_1 + 1.016 x_5_0_1 + 0.214 x_6_0_1 + 0.237 x_7_0_1 <= 8;

same_location_0_0: x_0_0_0 = 0;

same_location_1_0: x_1_1_0 = 0;

same_location_2_0: x_2_2_0 = 0;

same_location_3_0: x_3_3_0 = 0;

same_location_4_0: x_4_4_0 = 0;

same_location_5_0: x_5_5_0 = 0;

same_location_6_0: x_6_6_0 = 0;

same_location_7_0: x_7_7_0 = 0;

same_location_0_1: x_0_0_1 = 0;

same_location_1_1: x_1_1_1 = 0;

same_location_2_1: x_2_2_1 = 0;

same_location_3_1: x_3_3_1 = 0;

same_location_4_1: x_4_4_1 = 0;

same_location_5_1: x_5_5_1 = 0;

same_location_6_1: x_6_6_1 = 0;

same_location_7_1: x_7_7_1 = 0;

u_1-u_2 + 1 <= 7 - 7 * x_1_2_0;

u_1-u_3 + 1 <= 7 - 7 * x_1_3_0;

u_1-u_4 + 1 <= 7 - 7 * x_1_4_0;

u_1-u_5 + 1 <= 7 - 7 * x_1_5_0;

u_1-u_6 + 1 <= 7 - 7 * x_1_6_0;

u_1-u_7 + 1 <= 7 - 7 * x_1_7_0;

u_2-u_1 + 1 <= 7 - 7 * x_2_1_0;

u_2-u_3 + 1 <= 7 - 7 * x_2_3_0;

u_2-u_4 + 1 <= 7 - 7 * x_2_4_0;

u_2-u_5 + 1 <= 7 - 7 * x_2_5_0;

u_2-u_6 + 1 <= 7 - 7 * x_2_6_0;

u_2-u_7 + 1 <= 7 - 7 * x_2_7_0;

u_3-u_1 + 1 <= 7 - 7 * x_3_1_0;

u_3-u_2 + 1 <= 7 - 7 * x_3_2_0;

u_3-u_4 + 1 <= 7 - 7 * x_3_4_0;

u_3-u_5 + 1 <= 7 - 7 * x_3_5_0;

u_3-u_6 + 1 <= 7 - 7 * x_3_6_0;

u_3-u_7 + 1 <= 7 - 7 * x_3_7_0;

u_4-u_1 + 1 <= 7 - 7 * x_4_1_0;

u_4-u_2 + 1 <= 7 - 7 * x_4_2_0;

u_4-u_3 + 1 <= 7 - 7 * x_4_3_0;

u_4-u_5 + 1 <= 7 - 7 * x_4_5_0;

u_4-u_6 + 1 <= 7 - 7 * x_4_6_0;

u_4-u_7 + 1 <= 7 - 7 * x_4_7_0;

u_5-u_1 + 1 <= 7 - 7 * x_5_1_0;

u_5-u_2 + 1 <= 7 - 7 * x_5_2_0;

u_5-u_3 + 1 <= 7 - 7 * x_5_3_0;

u_5-u_4 + 1 <= 7 - 7 * x_5_4_0;

u_5-u_6 + 1 <= 7 - 7 * x_5_6_0;

u_5-u_7 + 1 <= 7 - 7 * x_5_7_0;

u_6-u_1 + 1 <= 7 - 7 * x_6_1_0;

u_6-u_2 + 1 <= 7 - 7 * x_6_2_0;

u_6-u_3 + 1 <= 7 - 7 * x_6_3_0;

u_6-u_4 + 1 <= 7 - 7 * x_6_4_0;

u_6-u_5 + 1 <= 7 - 7 * x_6_5_0;

u_6-u_7 + 1 <= 7 - 7 * x_6_7_0;

u_7-u_1 + 1 <= 7 - 7 * x_7_1_0;

u_7-u_2 + 1 <= 7 - 7 * x_7_2_0;

u_7-u_3 + 1 <= 7 - 7 * x_7_3_0;

u_7-u_4 + 1 <= 7 - 7 * x_7_4_0;

```

u_7-u_5+1 <= 7 - 7 * x_7_5_0;
u_7-u_6+1 <= 7 - 7 * x_7_6_0;
u_1-u_2+1 <= 7 - 7 * x_1_2_1;
u_1-u_3+1 <= 7 - 7 * x_1_3_1;
u_1-u_4+1 <= 7 - 7 * x_1_4_1;
u_1-u_5+1 <= 7 - 7 * x_1_5_1;
u_1-u_6+1 <= 7 - 7 * x_1_6_1;
u_1-u_7+1 <= 7 - 7 * x_1_7_1;
u_2-u_1+1 <= 7 - 7 * x_2_1_1;
u_2-u_3+1 <= 7 - 7 * x_2_3_1;
u_2-u_4+1 <= 7 - 7 * x_2_4_1;
u_2-u_5+1 <= 7 - 7 * x_2_5_1;
u_2-u_6+1 <= 7 - 7 * x_2_6_1;
u_2-u_7+1 <= 7 - 7 * x_2_7_1;
u_3-u_1+1 <= 7 - 7 * x_3_1_1;
u_3-u_2+1 <= 7 - 7 * x_3_2_1;
u_3-u_4+1 <= 7 - 7 * x_3_4_1;
u_3-u_5+1 <= 7 - 7 * x_3_5_1;
u_3-u_6+1 <= 7 - 7 * x_3_6_1;
u_3-u_7+1 <= 7 - 7 * x_3_7_1;
u_4-u_1+1 <= 7 - 7 * x_4_1_1;
u_4-u_2+1 <= 7 - 7 * x_4_2_1;
u_4-u_3+1 <= 7 - 7 * x_4_3_1;
u_4-u_5+1 <= 7 - 7 * x_4_5_1;
u_4-u_6+1 <= 7 - 7 * x_4_6_1;
u_4-u_7+1 <= 7 - 7 * x_4_7_1;
u_5-u_1+1 <= 7 - 7 * x_5_1_1;
u_5-u_2+1 <= 7 - 7 * x_5_2_1;
u_5-u_3+1 <= 7 - 7 * x_5_3_1;
u_5-u_4+1 <= 7 - 7 * x_5_4_1;
u_5-u_6+1 <= 7 - 7 * x_5_6_1;
u_5-u_7+1 <= 7 - 7 * x_5_7_1;
u_6-u_1+1 <= 7 - 7 * x_6_1_1;
u_6-u_2+1 <= 7 - 7 * x_6_2_1;
u_6-u_3+1 <= 7 - 7 * x_6_3_1;
u_6-u_4+1 <= 7 - 7 * x_6_4_1;
u_6-u_5+1 <= 7 - 7 * x_6_5_1;
u_6-u_7+1 <= 7 - 7 * x_6_7_1;
u_7-u_1+1 <= 7 - 7 * x_7_1_1;
u_7-u_2+1 <= 7 - 7 * x_7_2_1;
u_7-u_3+1 <= 7 - 7 * x_7_3_1;
u_7-u_4+1 <= 7 - 7 * x_7_4_1;
u_7-u_5+1 <= 7 - 7 * x_7_5_1;
u_7-u_6+1 <= 7 - 7 * x_7_6_1;
u_1 >= 2;
u_1 <= 8;
u_2 >= 2;
u_2 <= 8;
u_3 >= 2;
u_3 <= 8;
u_4 >= 2;
u_4 <= 8;
u_5 >= 2;
u_5 <= 8;
u_6 >= 2;
u_6 <= 8;
u_7 >= 2;
u_7 <= 8;
u_0 = 1;

bin y_0, x_0_0_0, x_0_1_0, x_0_2_0, x_0_3_0, x_0_4_0, x_0_5_0, x_0_6_0, x_0_7_0, x_1_0_0, x_1_1_0, x_1_2_0, x_1_3_0, x_1_4_0, x_1_5_0,
x_1_6_0, x_1_7_0, x_2_0_0, x_2_1_0, x_2_2_0, x_2_3_0, x_2_4_0, x_2_5_0, x_2_6_0, x_2_7_0, x_3_0_0, x_3_1_0, x_3_2_0, x_3_3_0, x_3_4_0,
x_3_5_0, x_3_6_0, x_3_7_0, x_4_0_0, x_4_1_0, x_4_2_0, x_4_3_0, x_4_4_0, x_4_5_0, x_4_6_0, x_4_7_0, x_5_0_0, x_5_1_0, x_5_2_0, x_5_3_0,
x_5_4_0, x_5_5_0, x_5_6_0, x_5_7_0, x_6_0_0, x_6_1_0, x_6_2_0, x_6_3_0, x_6_4_0, x_6_5_0, x_6_6_0, x_6_7_0, x_7_0_0, x_7_1_0, x_7_2_0,
x_7_3_0, x_7_4_0, x_7_5_0, x_7_6_0, x_7_7_0, y_1, x_0_0_1, x_0_1_1, x_0_2_1, x_0_3_1, x_0_4_1, x_0_5_1, x_0_6_1, x_0_7_1, x_1_0_1, x_1_1_1,
x_1_2_1, x_1_3_1, x_1_4_1, x_1_5_1, x_1_6_1, x_1_7_1, x_2_0_1, x_2_1_1, x_2_2_1, x_2_3_1, x_2_4_1, x_2_5_1, x_2_6_1, x_2_7_1, x_3_0_1,
x_3_1_1, x_3_2_1, x_3_3_1, x_3_4_1, x_3_5_1, x_3_6_1, x_3_7_1, x_4_0_1, x_4_1_1, x_4_2_1, x_4_3_1, x_4_4_1, x_4_5_1, x_4_6_1, x_4_7_1,
x_5_0_1, x_5_1_1, x_5_2_1, x_5_3_1, x_5_4_1, x_5_5_1, x_5_6_1, x_5_7_1, x_6_0_1, x_6_1_1, x_6_2_1, x_6_3_1, x_6_4_1, x_6_5_1, x_6_6_1,
x_6_7_1, x_7_0_1, x_7_1_1, x_7_2_1, x_7_3_1, x_7_4_1, x_7_5_1, x_7_6_1, x_7_7_1;

```

Figura 69 – Código LPSolve do modelo ACVRP

Apêndice B

```
from networkx import DiGraph
from vrpy import VehicleRoutingProblem
G = DiGraph()
G.add_edge("Source","1", cost=11.2182224)
G.edges["Source","1"]["time"]=0.8512479999999999
G.add_edge("Source","2", cost=11.072289699999999)
G.edges["Source","2"]["time"]=0.8165064999999999
G.add_edge("Source","3", cost=8.491646)
G.edges["Source","3"]["time"]=0.6245033333333332

(...)

G.add_edge("13","Sink", cost=3.2662116)
G.edges["13","Sink"]["time"]=0.236682
G.nodes["13"]["demand"] = 80.0
prob = VehicleRoutingProblem(G, load_capacity=1314)
prob.duration = 8
prob.solve()
#prob.solve(heuristic_only=True) #Para utilizar uma heurística de Clarke & Wright
#prob.solve(time_limit=60)
print('Custo total:', prob.best_value)
print('\nRotas:')
display(prob.best_routes)
print('\nCarga do caminhão (quilogramas):')
display(prob.best_routes_load)
print('\nDuração das rotas (horas):')
display(prob.best_routes_duration)
print('\nTempo de computação (segundos):')
display(prob.comp_time)
```

Figura 70 - Excerto exemplo de código VRPy para a semana 3