



## Melhoria do fluxo logístico na indústria de marroquinaria

JOÃO PEDRO SANTOS RIBEIRO

novembro de 2022

# MELHORIA DE FLUXO LOGÍSTICO NA INDÚSTRIA DE MARROQUINARIA

João Pedro Santos Ribeiro

1171011

**2022**

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica





# MELHORIA DE FLUXO LOGÍSTICO NA INDÚSTRIA DE MARROQUINARIA

João Pedro Santos Ribeiro

1171011

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação da Professora Doutora Maria Teresa Pereira

**2022**

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica





# JÚRI

## **Presidente**

Marisa João Guerra Pereira de Oliveira

Professora Adjunta, Departamento de Matemática, Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Orientador**

Maria Teresa Ribeiro Pereira

Professora Coordenadora, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Coorientador**

Marisa João Guerra Pereira de Oliveira

Professora Adjunta, Departamento de Matemática, Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Arguente**

Filipe Roberto de Jesus Ramos

Professor Auxiliar Convidado, Departamento de Estatística e Investigação Operacional, Faculdade de Ciências Da Universidade de Lisboa



## AGRADECIMENTOS

A presente dissertação representa, acima de tudo, o fim de um ciclo, fruto de 17 anos de estudo, esforço e dedicação. No entanto, sozinho nunca teria sido capaz de o fazer, cabendo-me agora agradecer às principais pessoas que me apoiaram ao longo deste percurso.

Em primeiro lugar, quero agradecer à minha irmã, à minha mãe e ao meu pai por todo o suporte e disponibilidade em ajudar que SEMPRE demonstraram e por terem acreditado em mim mesmo quando eu não o fazia. Espero, um dia, conseguir retribuir metade de tudo o que me deram.

Aos meus amigos, que me acompanham desde o início do meu percurso e sempre me disseram para não desistir e que eu era capaz, o meu mais sincero agradecimento.

Aos meus familiares, nomeadamente aos meus avós e padrinhos, que sempre torceram por mim em todas as minhas etapas, o meu muito obrigado.

À minha orientadora e coorientadora, Doutora Maria Teresa Pereira e Doutora Marisa Oliveira, pela sua disponibilidade, ajuda e dedicação, demonstro aqui a minha gratidão por todo o trabalho.

Na ATEPELI, agradeço à Carla Neiva (orientadora na empresa) por todos os ensinamentos que me transmitiu ao longo do estágio. Queria deixar o meu especial apresso pelo Fábio Lopes, que desde cedo me ajudou e se disponibilizou para que todo o meu trabalho tivesse o melhor seguimento possível. Evidentemente, tenho de deixar uma enorme palavra de agradecimento à equipa da logística, que me acolheu da melhor forma e me orientou como membro integrante do grupo. Ainda dentro da empresa, agradeço à micro planificação, nomeadamente, Ana Lúcia e Ana Francisca, por me esclarecer muitas das dúvidas que me foram aparecendo relativamente aos processos produtivos e por me fazerem sentir sempre bem-vindo.



## PALAVRAS-CHAVE

Roteamento, VRP e respetivas variantes, cadeia de distribuição, logística, modelos de apoio à decisão

## RESUMO

Atualmente, a busca pela inovação é contínua. Para as empresas resistirem, têm de permanecer resilientes e focadas na constante adaptação que a indústria exige.

Neste contexto, a ATEPELI, tem como objetivo melhorar o desempenho operacional a nível da equipa técnica no roteamento e aplicar melhorias que impactam esta matéria. Assim, este aprimoramento baseou-se em três grandes tópicos: melhoria do planeamento, normalização da atividade laboral e otimização de rotas.

Para tal foi implementada uma ferramenta que permite dar visibilidade sobre em que parte da produção estão as encomendas e se já se encontram prontas para serem expedidas. A nível de normalização das embalagens de transporte, substituiu-se cinco referências de caixas de cartão, por apenas três com a mesma largura e comprimento, alterando apenas a altura das mesmas para números múltiplos: 4, 8 e 12 cm.

Por último, o tema fulcral deste trabalho, otimização de rotas de distribuição. Sendo inicialmente rotas intuitivas, este projeto visa criar um modelo de otimização de rotas. Uma vez que a atribuição de horas de trabalho por parte da equipa central vai variando, existe uma flutuação do material expedido para cada cliente. Tendo em conta que esta flutuação é relativamente pequena e apenas acontece a cada *quarter* (trimestre), o sistema de rotas fixas pode ser considerado como funcional, tendo de ser atualizado quando houver uma nova atribuição de horas. Assim, o objetivo passa por minimizar o custo total de transporte, que neste caso é fornecido pelo custo por quilómetro. Para tal, foram estudados cinco cenários, obtidos por uma ferramenta de apoio à decisão desenvolvida no software de otimização *IBM CPLEX 12.8.0.0*.

O Modelo de VRPTW, conjuntamente com decisões referentes às rotas, nomeadamente o *crossdocking* em Orléans, permitiu a redução dos custos em mais de 30%, mantendo os requisitos do cliente e empresa quanto ao nível de serviço. Estes ganhos são referentes a um dos cenários estudados, em que se verificou a possibilidade de garantir toda a distribuição de última milha com três carrinhas, com janelas temporais e procuras de acordo com o expectável. Apesar do cenário com uma maior margem para ganhos, ser o que apresenta um centro de distribuição de acordo com o método gravítico, para tal, seria necessário alugar um armazém na zona de Perrusson (zona indicada pelo método gravítico).



## KEYWORDS

Routing, Vehicle Routing Problem (VRP), supply chain, logistics, decision support models

## ABSTRACT

Today, the quest for innovation is continuous. For companies to endure, they must remain resilient and focused on the constant adaptation that the industry requires.

In this context, ATEPELLI, aims to improve the operational performance at the level of the technical team in routing and apply improvements that impact this matter. Thus, this improvement was based on three major topics: improved planning, standardization of work activity and route optimization.

To this end, a tool was implemented that provides visibility on which part of production the orders are and if they are ready to be shipped. In terms of standardization of transport packaging, five references of cardboard boxes were replaced by only three with the same width and length, changing only their height to multiple numbers: 4, 8 and 12 cm.

Finally, the central theme of this work, optimization of distribution routes. Being initially intuitive routes, this project aims to create a route optimization model. Since the assignment of work hours by the central team varies, there is a fluctuation of the material shipped to each customer. Considering that this fluctuation is relatively small and only happens every quarter, the fixed route system can be considered as functional, having to be updated when there is a new time allocation. Thus, the objective is to minimize the total transportation cost, which in this case is provided by the cost per kilometer. To this end, five scenarios were studied, obtained by a decision support tool developed in IBM CPLEX 12.8.0.0 optimization software.

The VRPTW model, together with decisions concerning the routes, namely crossdocking in Orléans, allowed the reduction of costs by more than 30%, maintaining the customer's and company's requirements concerning the service level. These gains refer to one of the scenarios studied, in which it was possible to guarantee all last mile distribution with three vans, with time windows and demands as expected. Although the scenario with the greatest margin for gains is the one that presents a distribution center according to the gravity method, for such, it would be necessary to rent a warehouse in the Perrusson area (area indicated by the gravity method).



## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

### Lista de Abreviaturas

APA	<i>American Psychological Association</i>
CP	<i>Composant Plat</i>
CSCM	<i>Circular Supply Chain Management</i>
CVRP	<i>Capacited Vehicle Routing Problem</i>
DVRP	<i>Dynamic Vehicle Routing Problem</i>
DMDVRPTW	<i>Dynamic Multi-Depot Vehicle Routing Problem with Time Windows</i>
I&D	<i>Investigação e Desenvolvimento</i>
MDVRP	<i>Multiple Depot Vehicle Routing Problem</i>
NP	<i>Non-Deterministic Polynomial Time</i>
OF	<i>Ordem de Fabrico</i>
OVRP	<i>Open Vehicle Routing Problem</i>
PO	<i>Purchase Order</i>
SLG	<i>Small Leather Goods</i>
TSP	<i>Traveling Salesman Problem</i>
VRP	<i>Vehicle Routing Problems</i>
VRPB	<i>Vehicle Routing Problem with Backhauls</i>
VRPBTW	<i>Vehicle Routing Problem with Backhauls with Time Windows</i>
VRPPD	<i>Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery</i>
VRPPDTW	<i>Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery with Time Windows</i>
VRPTW	<i>Vehicle Routing Problem with Time Windows</i>



## GLOSSÁRIO DE TERMOS

---

<b>CROSSDOCKING</b>	Método de distribuição em que a mercadoria, chegando a um armazém não é guardada, mas sim preparada para o carregamento e distribuição para o consumidor.
<b>CP</b>	Componentes planos de malas
<b>MILK-RUN</b>	Sistema de entregas em que a entrega e recolha se realiza em simultâneo, economizando custos de transporte.
<b>SLG</b>	Componentes de pequena marroquinaria
<b>TORON</b>	Componente de malas com um tipo específico de corda associado à sua constituição
<b>QUARTER</b>	Corresponde a cada estação do ano (cerca de três meses)

---



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Metodologia <i>Action Research</i> (Adaptado de Sundarakani et al., 2021).....	4
Figura 2 - Logótipo da ATEPELI - Ateliers de Portugal, S.A. (Adaptado de ATEPELI - Ateliers de Portugal S.A., 2019) .....	5
Figura 3 - Estrutura de uma cadeia de distribuição (Adaptado de Lambert & Cooper, 2000) .....	10
Figura 4 - Cadeias de distribuição linear, em ciclo fechado e circular (Adaptado de Farooque et al., 2019) .....	11
Figura 5 - Diagrama do <i>Traveling Salesman Problem</i> (adaptado de Kanna et al., 2021).....	13
Figura 6 - Diferentes variações do VRP (Adaptado de Montoya-Torres et al., 2015).....	14
Figura 7 - Caminho espaço-temporal de duas rotas segundo o VRPTW (Adaptado de Qi et al., 2012).....	15
Figura 8 - Comparação entre VRP e MDVRP (Adaptado de Montoya-Torres et al., 2015) .....	16
Figura 9 - Diferentes fluxos presentes na ATEPELI .....	28
Figura 10 - <i>Lead Time</i> máximo de exportação.....	30
Figura 11 - Interceção de rotas nos diferentes dias .....	30
Figura 12 - Modelação Quantitativa.....	34
Figura 13 – Rotas de longo curso (ida e volta).....	40
Figura 14 – Rotas do Cenário 1.....	41
Figura 15 – Rotas do Cenário 2.....	42
Figura 16 – Rotas do Cenário 3.....	43
Figura 17 – Rotas do Cenário 4.....	44
Figura 18 – Rotas do Cenário 5.....	45



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de VRP	17
Tabela 2 - Casos de aplicação de métodos exatos	20
Tabela 3 - Comparação computacional de algumas heurísticas clássicas (Adaptado de Laporte et al., 2006)	21
Tabela 4 - Casos de aplicação de métodos aproximados	23
Tabela 5 - Quadro resumo dos principais problemas da situação inicial	33
Tabela 6 – Procura Semana dos Clientes	35
Tabela 7 – Janelas temporais dos clientes	35
Tabela 8 – Parâmetros do modelo matemático	38
Tabela 9 – Quadro resumo de comparação dos diferentes cenários	46



# ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO .....	3
1.1	Contextualização .....	3
1.2	Objetivos .....	3
1.3	Metodologia .....	4
1.4	Empresa de acolhimento .....	5
1.4.1	História da ATEPELI.....	5
1.5	Estrutura do relatório.....	6
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1	Logística.....	9
2.2	Cadeia de distribuição.....	10
2.2.1	Circular Supply Chain Management (CSCM) .....	11
2.3	Vehicle Routing Problem (VRP).....	12
2.3.1	Traveling Salesman Problem (TSP) .....	13
2.3.2	Variantes do VRP .....	13
2.3.2.1	Capacited Vehicle Routing Problem (CVRP).....	14
2.3.2.2	Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW) .....	14
2.3.2.3	Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pick-Up and Delivery (VRPSPD) .....	15
2.3.2.4	Dynamic Vehicle Routing Problem (DVRP) .....	15
2.3.2.5	Multiple Depot Vehicle Routing Problem (MDVRP) .....	16
2.3.2.6	Outros tipos de VRP .....	17
2.4	Método de resolução de problemas de planeamento de rotas de veículos .....	18
2.4.1	Métodos Exatos.....	18

---

2.4.1.1	Programação Dinâmica .....	19
2.4.1.2	Procura Direta em Árvores de Pesquisa .....	19
2.4.1.3	Outros trabalhos utilizando Método Exatos .....	20
2.4.2	Método Aproximados.....	21
2.4.2.1	Heurísticas .....	21
2.4.2.2	Meta-Heurísticas.....	22
2.4.2.3	Outros trabalhos utilizando Métodos Aproximados.....	23
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>27</b>
3.1	Enquadramento global da situação inicial .....	27
3.2	Fluxo logístico na ATEPELI .....	28
3.3	Fluxo logístico interno .....	28
3.4	Processo de embalamento.....	29
3.5	Situação inicial do roteamento .....	30
3.5.1	Análise de rotas iniciais .....	30
3.5.2	Conclusão do estado inicial .....	33
3.6	Metodologia: Estado Futuro .....	33
3.6.1	Modelo de distribuição desejado .....	34
3.6.2	Método Gravítico .....	36
3.6.3	Parâmetros para a formulação matemática.....	37
3.6.4	Implementação e resultados.....	40
3.7	Conclusões .....	45
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>49</b>
4.1	Conclusões .....	49
4.2	Propostas de trabalhos futuros.....	50
4.3	Trabalhos desenvolvidos e principais contributos .....	51

---

5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	55
6	ANEXOS.....	63
6.1	Anexo A .....	63
6.2	Anexo B .....	66
6.3	Anexo C .....	67



# INTRODUÇÃO

- 1.1 Contextualização
- 1.2 Objetivos
- 1.3 Metodologia
- 1.4 Empresa de acolhimento
- 1.5 Estrutura do relatório



# 1 INTRODUÇÃO

Com a procura de eficiência e sustentabilidade, a otimização do *Supply Chain* por parte das empresas torna-se crucial. Por essa razão, nos últimos anos, o *Vehicle Routing Problem* (VRP) – Problema de Roteamento de Veículos – tem ganhado uma maior notoriedade nos sistemas de distribuição, para que haja um acréscimo de valor no sistema de transporte. O objetivo do VRP clássico passa então por através do conhecimento das localizações geográficas dos clientes e das suas necessidades (procura e possíveis exigências), traçar um sequenciamento ótimo de modo a recolher ou fornecer encomendas com o custo mínimo, através de uma frota limitada (Ancelet et al., 2021).

Muitas empresas e organizações, por falta de recursos, optam por criar as suas rotas através de métodos intuitivos, no entanto, há uma melhoria significativa a nível de fiabilidade e de custos quando o roteamento é realizado com o auxílio de métodos matemáticos.

## 1.1 Contextualização

O projeto apresentado nesta dissertação foi desenvolvido em ambiente industrial, sendo realizado no departamento de logística numa empresa líder e conceituada no ramo da marroquinaria de luxo: ATEPELI – Ateliers de Portugal, S.A..

O propósito do estágio, passou pela análise e melhoria das rotas que a empresa tem com os seus clientes (espalhados por França e pelo norte de Espanha). Em simultâneo, de modo a otimizar ao máximo este projeto, foram desenvolvidas atividades paralelas que permitem um maior controlo e redução de custos com o transporte, dos quais:

- Alteração da dimensão das caixas de peças conformes;
- Criação de procedimentos de embalagem;
- Diminuição do tamanho e do fluxo das caixas das peças defeituosas.

## 1.2 Objetivos

Este trabalho visa principalmente propor um modelo de roteamento de veículos para a distribuição das encomendas dos clientes nos ateliers específicos. Quando concluído, espera-se, sobretudo, um ganho economicamente significativo, visto que na presente organização há necessidade de um número exorbitante de rotas extra já que o plano

atual não contempla algumas variações essenciais. Uma consequência direta deste projeto, que também tem bastante relevância, é a criação de uma base de documentação fidedigna.

Deste modo, traçaram-se como principais objetivos:

- Melhoria no processo de embalagem;
- Levantamento da informação e dados relacionados com o trabalho a desenvolver (necessidades dos clientes, janelas de abertura, etc.);
- Estudo e análise de metodologias de roteamento;
- Desenvolvimento do modelo de roteamento numa indústria de marroquinaria;
- Implementação do modelo.

Em suma, com o modelo criado, pretende-se alcançar um plano consistente de rotas. No entanto, aliada a estabilidade, deseja-se de igual forma alguma versatilidade já que há inúmeras situações no quotidiano de uma empresa que não podem ser previstas e para alcançar um cenário real, é fulcral tomar consciência destas ocorrências.

### 1.3 Metodologia

A metodologia escolhida para estruturar o relatório, no caso de estudo implementado, foi a *action research* (investigação em ação). A *action research* é um processo de investigação que equilibra o processo de investigação em ambiente industrial com a análise de dados na resolução de problemas. Esta permite compreender as causas subjacentes e fazer previsões futuras sobre as mudanças necessárias na organização. Uma vez que este método tem uma componente prática que auxilia nos problemas do quotidiano industrial e tem como objetivo final provocar alterações no funcionamento da organização, revela-se o mais indicado para este projeto (Sundarakani et al., 2021).

Deste modo, esta pode dividir-se em cinco estados, como é visível na Figura 1.

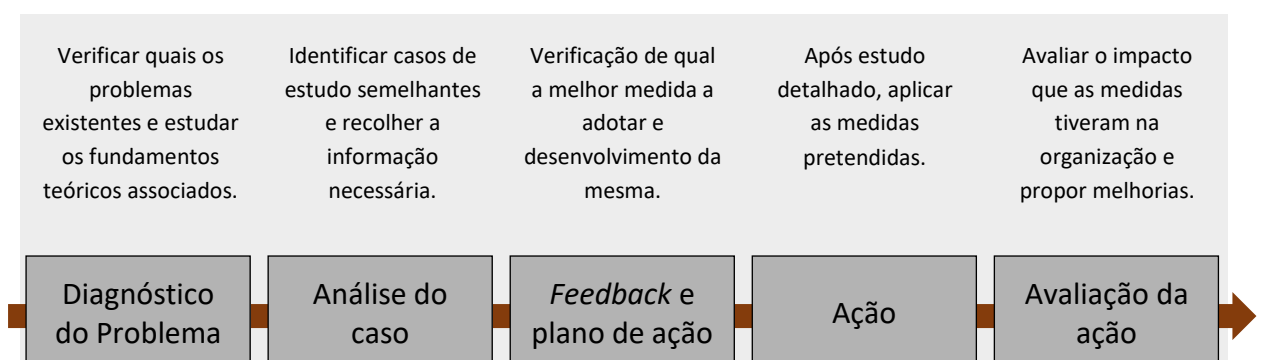


Figura 1 - Metodologia *Action Research* (Adaptado de Sundarakani et al., 2021)

Na primeira fase, diagnóstico do problema, deve-se fundamentar a problemática e averiguar todos os conceitos teóricos associados à mesma.

Na análise do caso, recolhe-se toda a informação que se considera pertinente de analisar para avançar com o estudo. Nesta etapa, é interessante fazer-se a comparação entre casos de estudo para verificar se a informação recolhida é suficiente. Após esta análise, é possível realizar uma previsão de possíveis cenários.

Na terceira fase (*feedback* e plano de ação), verifica-se, através das etapas anteriores, qual a melhor metodologia a adotar e traça-se um plano de aplicação. Depois de uma investigação aprofundada, para evitar erros, torna-se viável aplicar as medidas propostas. Por último, se possível, deve-se avaliar o impacto que as medidas tiveram na organização e quais as melhorias que poderiam ter um incremento positivo na mesma.

## 1.4 Empresa de acolhimento

A ATEPELI – Ateliers de Portugal, S.A. é uma empresa com mais de dez anos que pertence a um dos maiores grupos internacionais de artigos de luxo. Para já, a empresa dedica-se à produção de componentes de marroquinaria e calçado, dividindo-se em três polos distintos: Ponte de Lima, Penafiel e Santa Maria da Feira.

### 1.4.1 História da ATEPELI

A ATEPELI nasceu a 2 de outubro de 2011, em Ponte de Lima, sendo o único atelier durante quase sete anos, nascendo aí o nome da empresa (ATE – Atelier; PELI – Ponte de Lima) (Figura 2).



Figura 2 - Logótipo da ATEPELI - Ateliers de Portugal, S.A. (Adaptado de ATEPELI - Ateliers de Portugal S.A., 2019)

Em Ponte de Lima é possível encontrar todo o tipo de componentes de marroquinaria (SLG, CP e TORON). Com SLG (*small leather goods*), refere-se a componentes de porta-moedas, sendo o único atelier a fazer este tipo de constituintes. As restantes categorias, CP (*composant plat* – componentes planos) e TORON estão relacionadas com componentes de malas.

A 2 de fevereiro de 2018, nasce, em Caíde de Rei, o segundo atelier do grupo que serviu como base até o atelier de Penafiel estar finalizado. Finalmente, a 10 de fevereiro de 2020, Penafiel foi inaugurado e iniciou a sua atividade apenas em componentes de CP e TORON.

Como referido, estes ateliers apenas fazem componentes, no entanto, em 2019, fez-se, em Ponte de Lima, o primeiro produto do início ao fim (mala completa), tendo sido um grande sucesso. Apesar de ser um produto final, este apenas é destinado a colaboradores de lojas *Louis Vuitton* como parte do seu fardamento. Devido ao grande êxito de 2019, este ano, 2022, está-se a reproduzir a mala em Penafiel e em Ponte de Lima, com os mesmos moldes.

Estes dois ateliers fazem apenas marroquinaria, no entanto, uma vez que o grupo também tem uma vertente ligada à indústria do calçado (com base centralizada em Itália), surgiu a ideia de criar um polo para componentes desse tipo em Portugal. Assim, devido à grande afluência desta gama de indústria em Santa Maria da Feira, germinou, a 21 de outubro de 2020, um atelier para esse fim nessa cidade.

## 1.5 Estrutura do relatório

O presente relatório encontra-se estruturado em cinco capítulos.

A primeira parte, capítulo 1, pretende dar a conhecer qual o âmbito principal deste trabalho, objetivos e metodologia de pesquisa a si associada. Ainda nesta etapa, faz-se o enquadramento da empresa de acolhimento.

De seguida, no capítulo 2, é feita uma revisão bibliográfica sobre o âmbito deste projeto. Esta está dividida em quatro subcapítulos principais. O primeiro, o mais geral, fala sobre a logística, seguido da cadeia de abastecimento. O terceiro subtema é o problema de roteamento de veículos, colmatando esta fase com os modelos que servem de base para a resolução das referidas problemáticas.

No capítulo 3 é apresentado o estado atual no que refere às rotas atuais e o respetivo planeamento de transportes da empresa “as is” e, após o diagnóstico, é apresentado o “to be” e respetivas ações a implementar. Apresenta-se ainda o modelo matemático para a otimização das rotas.

O penúltimo capítulo, apresenta as conclusões e o que se pode concretizar em trabalhos futuros

Para finalizar, o quarto capítulo é referente à Bibliografia. Esta foi conseguida através do cumprimento da sétima edição da norma APA.

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 Logística
- 2.2 Cadeia de distribuição
- 2.3 Vehicle Routing Problem (VRP)
- 2.4 Método de resolução de problemas de planeamento de rotas de veículos



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo encontra-se uma síntese de toda a pesquisa bibliográfica que foi realizada. Esta foi concretizada com o intuito de obter um conhecimento mais aprofundado sobre a matéria deste projeto para permitir a aplicação do mesmo e encontra-se dividida em quatro subcapítulos.

Numa primeira abordagem, será referido o papel da logística no contexto empresarial, o benefício que traz à indústria e quais os principais pilares a si adjacentes. De seguida, faz-se um enquadramento da cadeia de distribuição e de que maneira a Indústria 4.0 pode ser inserida neste meio.

No terceiro subcapítulo, o que se refere ao assunto principal deste trabalho, faz-se uma análise do VRP e algumas das suas variantes.

Para finalizar, abrangesse de uma maneira sucinta os modelos que servem como base para a resolução dos problemas de roteamento de veículos.

### 2.1 Logística

Para grande parte das organizações, a monitorização do fluxo de informação e matéria, desde o início até ao fim do seu percurso, tem-se revelando fundamental. Já que todo o mercado se tem demonstrado cada vez mais competitivo, o aumento da eficiência dos processos tem sido primordial para que as empresas progridam positivamente na sua atividade.

Na logística, existem cinco pontos chave:

- Transporte;
- Armazém;
- Inventário;
- Embalagem;
- Processamento de informação.

No transporte, é necessário ter em consideração o modo de transporte (aéreo, marítimo, terrestre, multimodal ou intermodal), as infraestruturas, as condições geográficas, o tipo de entrega (expresso, normal, longa distância, noturno), o roteamento e o escalonamento.

Relativamente ao armazém, as ponderações mais importantes passam pela sua localização, o número de armazéns (associado à política de armazenamento como o

conceito central e descentralizado), o tamanho e o tipo de armazenamento (no caso de carga que necessita de condições especiais de acondicionamento ou outros fatores).

A gestão de inventário passa principalmente pela tomada de decisões (“O que armazenar?”, “Quanto armazenar” e “Onde armazenar?”). Muitas vezes, esta é confundida com gestão de armazém, no entanto, na medida em que a gestão de inventário tem uma preocupação enquadrada à quantidade de *stock* do produto ou da matéria-prima, o armazém lida com a alocação desse *stock*. Todos os produtos (matérias-primas, semiacabados e acabados) precisam de embalagem. Daí, esta associada à sua uniformização, tornam-se aspetos importantes na logística (Islam et al., 2013). Como é evidente, um sistema logístico efetivo e eficiente precisa de um sistema integrado que una estes pilares.

## 2.2 Cadeia de distribuição

Todas as empresas intervêm numa rede de entidades que se entreligam pelo fluxo, desde a matéria-prima até ao consumidor final. A esta rede, dá-se o nome de cadeia de distribuição. De acordo com Lambert & Cooper (2000), é muito diminuta a probabilidade de uma organização participar numa única cadeia de distribuição já que para a maioria dos fabricantes, a rede não se assemelha tanto com uma linha, mas sim a uma árvore desenraizada, onde os ramos e raízes são o extenso trabalho em os clientes e os fornecedores, como se pode verificar na Figura 3.

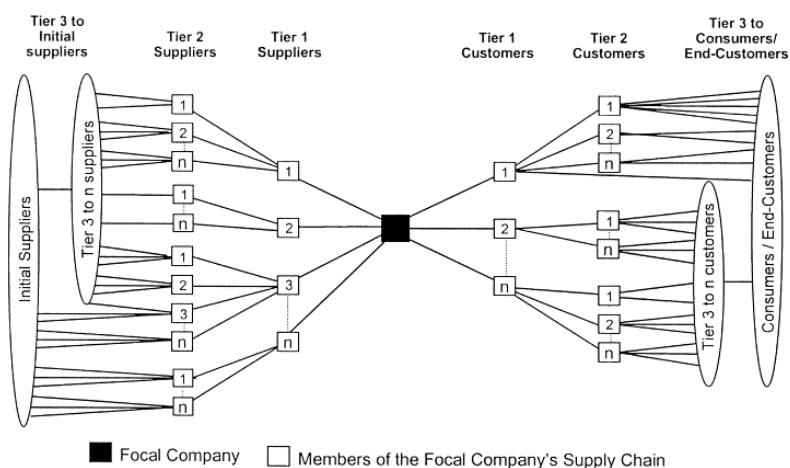


Figura 3 - Estrutura de uma cadeia de distribuição (Adaptado de Lambert & Cooper, 2000)

### 2.2.1 Circular Supply Chain Management (CSCM)

Nos dias que correm, a economia circular tem sido cada vez mais reconhecida como uma melhor alternativa ao modelo económico linear, tendo em conta a sua abordagem que ambiciona um circuito fechado de recursos e energia (Mastos et al., 2021). A *Circular Supply Chain Management* (CSCM), que integra a filosofia da economia circular na cadeia de distribuição, oferece uma nova e convincente perspetiva para o domínio da sustentabilidade da cadeia.

De um modo mais resumido, CSCM pode ser definido, como Geissdoerfer et al. (2018) indicam:

*“...configuração e coordenação das funções organizacionais marketing, vendas, I&D, produção, logística, TI, finanças, e serviço ao cliente dentro e entre unidades de negócio e organizações para fechar, abrandar, intensificar, estreitar e desmaterializar os circuitos de material e energia para minimizar a entrada de recursos e o desperdício e fuga de emissões para fora do sistema, melhorar a sua eficácia e eficiência operacional e gerar vantagens competitivas...”*

Segundo Farooque et al. (2019), o propósito da CSCM é conduzir à produção de zero desperdício através de inovações no sistema de modo a recuperar valor do que tradicionalmente se denomina como gasto. Isto é possibilitado com simples ações como: reutilizar, reparar e reciclar. Na Figura 4 é possível observar o contraste entre uma cadeia de distribuição circular com uma linear e uma de ciclo fechado.

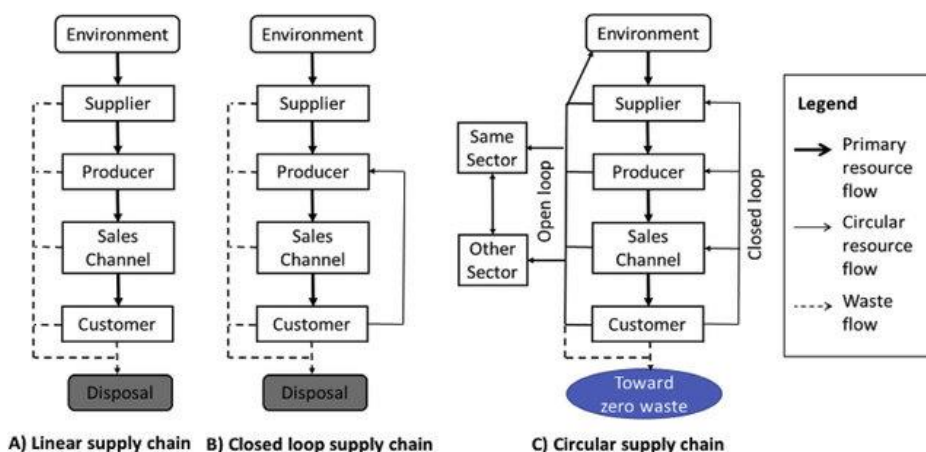


Figura 4 - Cadeias de distribuição linear, em ciclo fechado e circular (Adaptado de Farooque et al., 2019)

Uma cadeia de distribuição linear extrai recursos da geosfera e da biosfera e elimina os materiais de embalagem e resíduos de inúmeras fases da cadeia de abastecimento, sem haver qualquer tipo de reciclagem ou aproveitamento de matéria. Numa cadeia de

distribuição de circuito fechado, existe uma melhoria no desempenho ambiental existir um fluxo inverso mercadorias e materiais de embalagem de modo a recuperar algum valor. No entanto, a extensão da recuperação de valor numa cadeia em circuito fechado é frequentemente limitada, uma vez que os esforços são limitados pela cadeia do produtor e não envolvem os restantes intervenientes. Numa cadeia de distribuição circular, ainda se vai mais longe. Neste tipo de rede, há recuperação de valor dos resíduos através da colaboração com outras organizações dentro ou fora do setor. O ideal seria conseguir uma geração de desperdício nula (Farooque et al., 2019).

### 2.3 Vehicle Routing Problem (VRP)

O planeamento de rotas de distribuição, também reconhecido por *Vehicle Routing Problem* (VRP), é um nome genérico que se refere a todas as classes de problemas que envolvem a conceção de rotas ótimas para uma frota de veículos para servir um conjunto de clientes, tendo em consideração determinadas restrições. O VRP não é único. Dependendo de alguns fatores como, a natureza da mercadoria transportada, da qualidade prestada e das características dos clientes e veículos, pode-se optar por uma das várias variantes do VRP (Baldacci et al., 2012).

O problema de roteamento de transportes, apesar de ser recorrente nos dias de hoje, foi introduzido em 1959 por Dantzig e Ramser. Os autores introduziram o "*Truck Dispatching Problem*", que determina de que maneira uma frota homogénea de camiões deve servir a procura de combustível em postos de abastecimento. Nos anos subsequentes assistiu-se a uma evolução na medida em que foram aparecendo diferentes heurísticas baseadas em vários princípios, como a poupança, proximidade geográfica, correspondência com os clientes, entre outros. Em 1964, surgiu a heurística de poupança que ainda hoje é reproduzida devido à sua velocidade, simplicidade e precisão aceitável: Clarke e Wright. Apenas em 1981, com a publicação de dois artigos por Chistofides, Mingozzi e Toth, é que foram desenvolvidos os primeiros métodos exatos. Passado alguns anos, em 1984, Laporte, Desrochers e Norbert propuseram um estudo baseado numa solução de relaxamento linear de um modelo inteiro (Laporte et al., 2013).

Atualmente, os modelos de VRP referenciados anteriormente, encontram-se desatualizados, uma vez que o desenvolvimento industrial aumentou da necessidade de incorporar novas restrições de modo que o modelo teórico se assemelhe ao máximo às situações reais.

### 2.3.1 Traveling Salesman Problem (TSP)

O *Traveling Salesman Problem* (TSP), em português, “Problema do Caixeiro Viajante”, é um problema clássico de otimização combinatória NP-Completa. Este caso tem como objetivo decidir qual a rota que minimiza a distância percorrida por um determinado veículo desde que deixa o seu ponto inicial, realiza todas as paragens necessárias e regressa ao local de partida, podendo considerar a rota como um ciclo Hamiltoniano (Figura 5) (Krishna et al., 2021).

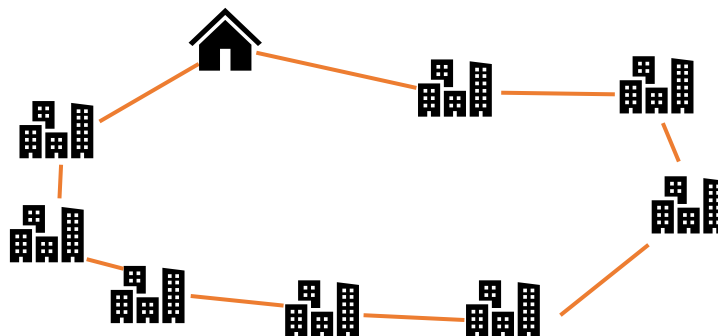


Figura 5 - Diagrama do *Traveling Salesman Problem* (adaptado de Kanna et al., 2021)

Segundo Huerta et al. (2022), o TSP pode ser definido matematicamente por:

Dados um grupo de paragens  $1, 2, 3, \dots, n$  e uma matriz de custo  $C = c_{ij}$  (com  $c_{ij}$  representa o custo para ir da origem “i” para o destino “j”, com  $i, j = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ ), encontrar a permutação de cidades que permite a obtenção do mínimo custo.

Os autores ainda consideram que existem dois tipos de problemas característicos, dependendo da matriz de custo:

- i. Se  $c_{ij} = c_{ji}$ , para todo o  $i$  e  $j$ , então o problema é simétrico (STSP).
- ii. Se  $c_{ij} \neq c_{ji}$ , para todo o  $i$  e  $j$ , então o problema é assimétrico (ATSP).

Deste modo, o número de rotas entre paragens, no STSP é dado por  $(n-1)!/2$  e no ATSP por  $(n-1)!$ .

### 2.3.2 Variantes do VRP

Tendo em consideração que nas diferentes organizações há inúmeras condicionantes no abastecimento, o VRP original já não pode ser aplicado de uma forma tão simples. Para que o problema seja viável, é necessário adicionar ou retirar restrições para que sejam colmatadas todas as limitações impostas. Algumas dessas restrições e consequentes variações no VRP podem ser verificadas na Figura 6.

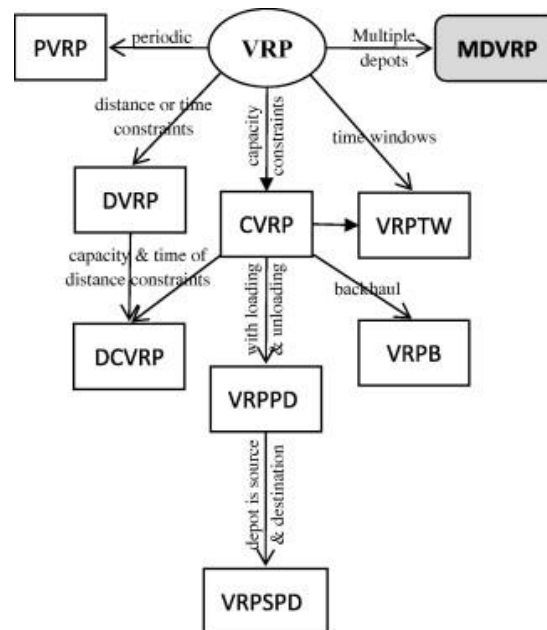


Figura 6 - Diferentes variações do VRP (Adaptado de Montoya-Torres et al., 2015)

Na imagem estão presentes algumas das variantes do VRP, no entanto, de seguida irão ser explicadas de uma forma mais resumida algumas das mais utilizadas.

### 2.3.2.1 *Capacited Vehicle Routing Problem (CVRP)*

O CVRP difere do VRP clássico na medida em que lhe é incrementada uma restrição de capacidade dos veículos. Com esta limitação, o objetivo passa por diminuir o número de veículos da frota e a distância e tempo da rota (Altabeeb et al., 2021).

### 2.3.2.2 *Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)*

Como o próprio nome sugere, esta variante acrescenta ao modelo original janelas temporais associadas a cada cliente, isto é, cada cliente fornece um período temporal, previamente definido, dentro do qual uma determinada tarefa ou serviço deve ser terminado. Pensou-se nesta proposta devido ao facto de, por vezes, os clientes imporem horários específicos para entregas e recolhas. No entanto, de acordo com Qi et al. (2012), também é necessário pensar nos constrangimentos espaciais, devido à posição dos clientes espalhados numa determinada região.

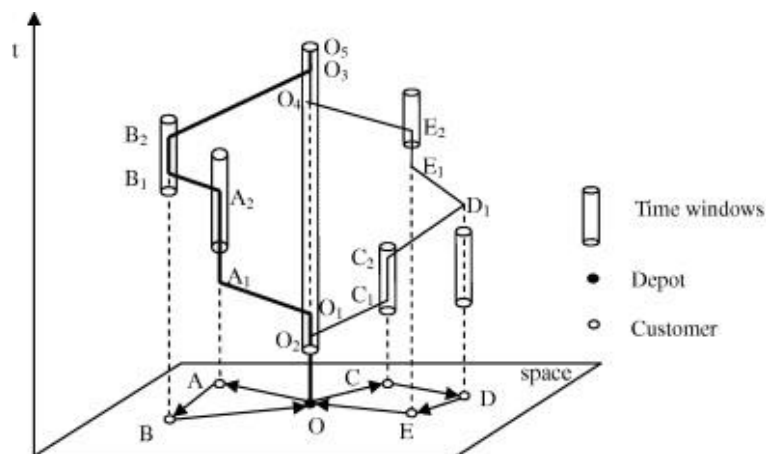


Figura 7 - Caminho espaço-temporal de duas rotas segundo o VRPTW (Adaptado de Qi et al., 2012)

Na Figura 7 é possível verificar em que medida as janelas temporais incorporam o problema juntamente com a distribuição geográfica.

Kuo et al. (2022) aplicam esta vertente num caso de estudo de camiões e veículos aéreos não tripulados que realizam entregas. Ao associar estes dois veículos, os camiões não só servem como veículo de transporte, mas também como plataforma de lançamento dos drones. Para que haja uma coordenação destes diferentes meios de transporte, aplicou-se um VRPTW, sendo utilizado um modelo de programação inteira para minimizar os custos totais de viagem. De seguida, associou-se um procedimento de pesquisa de vizinhança variável, mostrando que estas metodologias, aplicadas ao caso, revelam resultados muito positivos.

### 2.3.2.3 Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pick-Up and Delivery (VRPSPD)

O VRPSPD trata-se de uma extensão do VRP que vem do campo da logística reversa ou bidirecional (Chaieb & ben Sassi, 2021). Neste caso, para além o veículo ter o encargo de efetuar entregas nos clientes, tem também associada a responsabilidade de recolher de um ou mais pontos a mercadoria necessária.

Em Zachariadis et al. (2009), aplica-se este método de modo a perceber quais as rotas ideais para satisfazer tanto a procura como a recolha de mercadoria dos clientes. Estes casos, são bastante pesados a nível computacional, pelo que não foi possível aplicar um método exato. Ao invés, utilizou-se uma meta-heurística variando os valores entre e 50 e 400 clientes, resultando numa melhoria significativa comparativamente às rotas antecedentes.

### 2.3.2.4 Dynamic Vehicle Routing Problem (DVRP)

Atualmente, utilizar um método de VRP estático, pode fornecer informações impróprias devido aos inúmeros incerteza e desafios como: congestionamento de tráfego, acidentes de aviação, entre outros (Zajkani et al., 2021). Para superar as adversidades

referidas, existe o DVRP. Esta é uma variante do clássico que tem como desígnio encontrar um conjunto de rotas para servir múltiplos clientes a um custo mínimo, podendo-se adaptar às situações correntes, isto é, adapta, em tempo real, os parâmetros associados ao problema de acordo com as necessidades.

Em Sabar et al. (2019), este modelo é utilizado para solucionar problemas de congestionamento de tráfego com um algoritmo evolucionário exatamente por este fator ativo, mostrando-se ser eficaz.

### 2.3.2.5 *Multiple Depot Vehicle Routing Problem (MDVRP)*

Esta vertente do VRP difere do original na medida em que ao invés de considerar apenas um ponto central para todos os veículos, consideram-se dois ou mais, como se pode constatar na Figura 8.

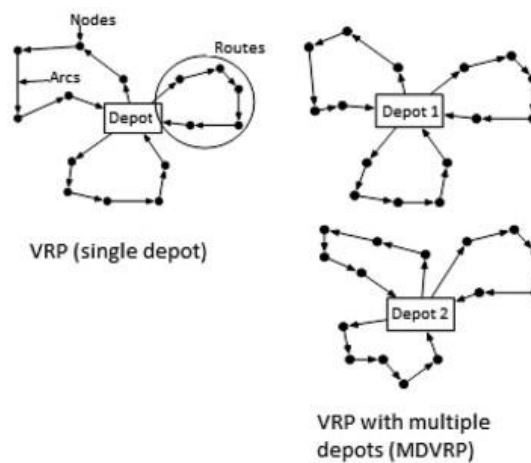


Figura 8 - Comparação entre VRP e MDVRP (Adaptado de Montoya-Torres et al., 2015)

### 2.3.2.6 Outros tipos de VRP

Para além dos referidos anteriormente, ainda existem bastantes princípios utilizados na indústria, sendo muitos deles originados pela junção de duas ou mais tipologias de VRP.

Na Tabela 1 são enunciados alguns desses modelos associados às restrições que os representam e a um caso de aplicação.

Tabela 1 - Tipos de VRP

Tipo de VRP	Restrição	Aplicação
VRPSD VRP with Split Deliveries	Clientes podem ser visitados mais do que uma vez, se tal representar uma redução de custos.	Gu et al., 2019  Neste artigo, apresenta-se um problema de VRPSD, em que a restrição (visitar mais do que uma vez) é requerida pelo cliente. Neste problema, é imposta uma outra limitação: uma determinada mercadoria tem que ser entregue numa só visita, ou seja, não se pode entregar numa visita 2 caixas do produto A e na visita seguinte mais 3 caixas do mesmo produto. Propõe-se a utilização de uma heurística baseada na busca adaptativa de grandes vizinhanças (ALNS) para a sua resolução. Para a resolução do problema foram realizadas experiências computacionais em instâncias obtidas pela literatura.
VRPBTW VRP with Backhauls and Time Windows	Divisão dos clientes como <i>linehauls</i> (onde há entrega de mercadorias) e <i>backhauls</i> (onde existe recolha de carga).  Cada cliente deve ser atendido dentro do período especificado (Küçükoğlu & Öztürk, 2015).	Tuntitippawan & Asawarungsaengkul, 2016  Neste trabalho, é possível verificar a aplicação de um algoritmo artificial de uma colónia de abelhas para resolver um VRPBTW. Neste caso, é utilizada uma frota homogénea para entrega de mercadorias aos <i>linehauls</i> , sendo de seguida recolhida, aos <i>backhauls</i> . As principais restrições do problema são a capacidade dos veículos, o <i>backhaul</i> , e as janelas temporais.
VRPPDTW VRP with Pick-Up and Delivery and Time Windows	Cada pedido de transporte é uma combinação de recolha no nó de origem e entrega no nó de destino.  Cada cliente deve ser atendido dentro do período especificado (Mahmoudi & Zhou, 2016).	Cao et al., 2021  No artigo, é utilizado o VRPPDTW como uma forma de otimizar os serviços de transporte a pedido e serviços de partilha de transporte. Neste caso, são utilizados veículos heterogéneos, com janelas multitemporais. São utilizadas três estratégias: “radial ruin”, “random ruin” e “sequencial ruin” para remover os nós.

## 2.4 Método de resolução de problemas de planeamento de rotas de veículos

Os métodos de resolução do VRP podem ser catalogados em duas categorias: exatas e aproximadas (heurísticas e meta-heurísticas) (Amiri-Aref et al., 2021). No Anexo A é possível verificar que existem variadíssimos métodos associados a cada família, passando a explicar alguns deles.

### 2.4.1 Métodos Exatos

Estes métodos foram estudados e desenvolvidos de modo a demonstrar qual a solução ótima à resolução dos problemas. No entanto, apesar do alcance deste “resultado ótimo” ser sempre o ambicionado, nem sempre existe essa possibilidade. Devido às restrições tecnológicas existentes, à medida que as instâncias vão aumentando, mais desafiante se torna o problema a nível computacional gráfico. Deste modo, esta metodologia apenas deve ser utilizada para uma quantidade de parâmetros relativamente pequenas, o que nem sempre corresponde à realidade. Observando o Anexo A constata-se que existem três grandes famílias nesta metodologia de resolução: programação dinâmica, procura direta em árvores de pesquisa e programação linear inteira.

#### 2.4.1.1 Programação Dinâmica

A programação dinâmica é um método iterativo que costuma ser aplicado a determinados problemas de otimização. Neste método, existe uma decomposição do problema principal em subproblemas. Nestes, é obtida uma solução ótima, guardando este resultado parcial. Posteriormente, combina-se os as soluções parciais, obtendo a solução completa. Um dos requisitos para este ser aplicado refere-se à utilização exclusiva de soluções ótimas dos problemas menores para a resolução da problemática original (Toscani & Veloso, 2001).

#### 2.4.1.2 Procura Direta em Árvores de Pesquisa

Nesta vertente, desenvolvida maioritariamente devido ao trabalho de Christofides, Mingozi e Toth, em 1981, podem-se incluir os métodos: de *branch and bound*, *branch and cut* e *branch and price* (Gutiérrez-Sánchez & Rocha-Medina, 2022).

##### Branch and Bound

Segundo Zarpellon et al. (2021), esta metodologia segue uma abordagem de dividir e conquistar, isto é, separa o espaço de pesquisa por ramificações em que os valores das variáveis. Este algoritmo baseia-se, na realidade, em regras heurísticas elaboradas por especialistas para as suas duas decisões mais fundamentais: seleção variável de ramificações e seleção de nós.

##### Branch and Cut e Branch and Price

Estes dois algoritmos podem ser considerados como uma melhoria do referido acima. No primeiro, há o acréscimo da restrição de corte (que aumenta a rapidez no processo de busca pelas soluções ótimas). No segundo é utilizada geração de colunas ao invés de planos de corte.

### 2.4.1.3 Outros trabalhos utilizando Método Exatos

Na Tabela 2 é possível observar aplicações de alguns métodos supramencionados.

Tabela 2 - Casos de aplicação de métodos exatos

Autor, Ano	Método	Caso de Estudo
Marinelli et al., 2018	Programação Dinâmica	O documento propõe um VRP com considerações ambientais destinado à gestão da distribuição urbana de carga. Neste caso, utiliza-se programação dinâmica para dividir o problema principal em vários e obter percursos ótimos. Este caso foi testado em várias instâncias e adquiriu resultados satisfatórios.
Theurich et al., 2021	Branch and Bound	Neste caso, apresenta-se um problema de itinerário de veículos ferroviários que pretende a redução de custos na manutenção. Para tal, utilizou-se o método de Branch and Bound. Numa primeira estratégia de ramificação, acrescenta-se um trabalho no final de uma rota em cada etapa de ramificação. Na segunda, inclui o trabalho dentro de uma rota em cada etapa da ramificação. Ambos os algoritmos apresentaram soluções benéficas, não tendo sido possível chegar a uma conclusão sobre qual o melhor.
Casazza et al., 2018	Branch and price	Neste estudo abordou-se um VRPPD em que as exigências dos nós de recolha e entrega podem ser divididas por vários veículos. Investigou-se uma formulação onde a rota de cada veículo é decomposta numa sequência de subestruturas mais simples, mitigando a explosão combinatória de soluções viáveis. Para tal, implementou-se um algoritmo de Branch and price.
Heßler & Irnich, 2021	Branch and cut	Neste artigo usa-se o Branch and cut num CVRP em que os clientes são divididos em aglomerados e todos os clientes do mesmo grupo tem de ser servidos pelo mesmo veículo. Os dados obtidos demonstram que muitas instâncias que estavam anteriormente abertas, podem ser resolvidas com este método.

## 2.4.2 Método Aproximados

Ao contrário dos métodos exatos, esta metodologia de resolução dos problemas de roteamento, fornece, como o próprio nome indica, soluções aproximadas, de grande qualidade, do ideal. Tendo em conta que estes métodos não necessitam de uma capacidade computacional tão elevada como os métodos exatos, têm sido cada vez mais utilizados a nível mundial.

### 2.4.2.1 Heurísticas

Existem variadíssimas heurísticas que podem ser utilizadas para a obtenção de rotas de forma racional e intuitiva. No entanto, é necessário prestar especial atenção às rotas apresentadas por estes métodos uma vez que apesar de serem logicamente pensados, podem representar uma margem de erro relativamente elevada. Na Tabela 3 pode-se comparar quais os métodos que apresentam melhor resultado dependendo do número de paragens que é necessário fazer.

Tabela 3 - Comparação computacional de algumas heurísticas clássicas (Adaptado de Laporte et al., 2006)

<i>n</i>	Type <sup>a</sup>	Clarke and Wright <sup>b</sup>	Wark and Holt <sup>c</sup>	Sweep <sup>d</sup>	1-Petal algorithm <sup>e</sup>	2-Petal algorithm <sup>f</sup>	Fisher and Jaikumar <sup>g</sup>	Bramel and Simchi-Levi <sup>h</sup>	Best known solution value					
50	C	578.56	524.6	531.90	0.12	531.90	0.10	524.61	0.76	524	9.3	524.6	68	524.61 <sup>i</sup>
75	C	888.04	835.8	884.20	0.17	885.02	0.07	854.09	0.52	857	12.0	848.2	406	835.26 <sup>j</sup>
100	C	878.70	830.7	846.34	1.18	836.34	0.32	830.40	3.84	833	17.7	832.9	890	826.14 <sup>i</sup>
150	C	1128.24	1038.5	1075.38	2.53	1070.50	0.41	1054.62	5.93	1014	33.6	1088.6	2552	1028.42 <sup>i</sup>
199	C	1386.84	1321.3	1396.05	3.60	1406.84	0.41	1354.23	6.21	1420	40.1	1461.2	4142	1291.45 <sup>i</sup>
50	C, D	616.66	555.4	560.08	0.16	560.08	0.09	560.08	0.56	560	15.2	—	—	555.43 <sup>i</sup>
75	C, D	974.79	911.8	965.51	0.19	968.89	0.07	922.75	0.43	916	20.6	—	—	909.63 <sup>i</sup>
100	C, D	968.73	878.0	883.56	1.47	877.80	0.25	877.29	2.91	885	52.2	—	—	865.94 <sup>i</sup>
150	C, D	1284.63	1176.5	1220.71	3.00	1220.20	0.26	1194.51	3.58	1230	121.3	—	—	1162.55 <sup>i</sup>
199	C, D	1521.94	1418.3	1526.64	4.91	1515.95	0.35	1470.31	5.19	1518	136.6	—	—	1395.85 <sup>i</sup>
120	C	1048.53	1043.4	1265.65	3.52	1252.84	0.61	1109.14	11.70	—	—	1051.5	1303	1042.11 <sup>i</sup>
100	C	824.42	819.6	919.51	0.64	824.77	0.21	824.77	2.11	824	6.4	826.1	400	819.56 <sup>i</sup>
120	C, D	1587.93	1548.3	1785.30	2.24	1773.69	0.26	1585.20	3.31	—	—	—	—	1541.14 <sup>i</sup>
100	C, D	868.50	866.4	911.81	0.85	894.77	0.17	885.87	1.69	876	6.3	—	—	866.37 <sup>i</sup>

<sup>a</sup> C: Capacity restrictions, D: distance restrictions.

<sup>b</sup> Parallel savings + 3-opt and best improvement, implemented by Laporte and Semet (2000). All computing times are negligible.

<sup>c</sup> Wark and Holt (1994). Best of five runs.

<sup>d</sup> Gillett and Miller (1974), implemented by Renaud et al. (1996a, 1996b).

<sup>e</sup> Foster and Ryan (1976), implemented by Renaud et al. (1996a, 1996b).

<sup>f</sup> Renaud et al. (1996a, 1996b). Computing times for the sweep, 1-petal and 2-petal heuristics are seconds on a Sun Sparcstation 2 (210.5 Mips, 4.2 Mflops), with 32 MB of RAM.

<sup>g</sup> Fisher and Jaikumar (1981). The rounding rule for distances is unspecified. Computing times are seconds on a DEC-10.

<sup>h</sup> Bramel and Simchi-Levi (1995). Computing times are seconds on an RS6000, Model 550.

<sup>i</sup> Taillard (1993).

<sup>j</sup> Rochat and Taillard (1995).

Nos pontos seguintes vão ser abordadas algumas das mais usuais e com maior rigor na solução que apresentam.

### Savings algorithms – Critério de poupança

A heurística de poupança mais reconhecida mundialmente, e já referida no presente trabalho, é a de Clarke & Wright. Esta aplica-se a problemas cujo número de veículos é

uma variável de decisão, funcionando igualmente bem para problemas dirigido e não dirigidos (Laporte et al., 2006).

Neste algoritmo começa-se por definir a matriz de poupança entre os pontos. De seguida, analisa-se os valores de poupança do valor mais elevado para o menor. Dada uma poupança, tenta-se fundir duas rotas que combinem, ou seja, considerando uma rota  $(0, i)$  e outra  $(0, j)$ , se forem coincidentes, é possível fazer  $(i, j)$ .

### Sweep algorithms

Esta heurística, popularizada por Gillet e Miller, em 1974, é de fácil aplicação já que se cinge a aglomerar os pontos de visita através da rotação de um raio centrado no depósito. Geralmente, após é utilizado um TSP para obter a rota. Algumas implementações incluem uma fase de pós-otimização na qual os vértices são trocados entre os aglomerados adjacentes, existindo um incremento na otimização das rotas (Laporte et al., 2006).

### Cluster-first, route-second algorithms (Fisher & Jaikumar)

Nesta vertente, relativamente semelhante à heurística mencionada anteriormente, o aglomerar de rotas não é feito através de um método geométrico, mas sim mediante a resolução de um problema de atribuição generalizada (Laporte et al., 2006).

### Improvement algorithms

De modo a garantir uma veracidade das soluções obtidas, estas podem posteriormente ser aperfeiçoadas rota a rota, levando a uma aproximação daquela que é a solução ótima.

#### 2.4.2.2 Meta-Heurísticas

As meta-heurísticas são abordagens eficientes para muitos problemas de otimização complexos (Boussaïd et al., 2013). Comparando estes métodos com os anteriormente referidos (exatos e heurísticas), estes métodos são muitas vezes utilizados uma vez que conseguem a amplitude de paragens que as heurísticas permitem e maior precisão na solução.

Como se pode constatar na Figura 9, existem variadíssimas meta-heurísticas. No entanto, de acordo com Elshaer & Awad (2020) existem três que, devido à quantidade de vezes que são referidas na literatura, se destacam: *tabu search*, *neighbourhood search* e *simulated annealing methods*.

### 2.4.2.3 Outros trabalhos utilizando Métodos Aproximados

Na Tabela 4 é possível observar aplicações de alguns métodos supramencionados.

Tabela 4 - Casos de aplicação de métodos aproximados

Autor, Ano	Método	Caso de Estudo
Karak & Abdelghany, 2019	Clarke and Wright	Neste estudo é utilizado o Clarke and Wright como método de desenvolvimento para um HVDRP ( <i>hybrid vehicle-drone routing problem</i> ). Para este caso, foram encontradas soluções de ótima qualidade.
Meliani et al., 2019	Tabu search	Neste artigo estuda-se o VRP associado a um problema de frota heterogênea, cujo objetivo passa por desenvolver rotas que minimizem os custos. Para tal, utilizou-se uma Tabu search que recorre a um procedimento denominado de fusão em paralelo com split, que tem como objetivo explorar novos espaços de pesquisa, sendo impulsionado por um algoritmo de memória adaptativa. Os resultados obtidos demonstram uma ótima aproximação do resultado ideal.
Ilhan, 2021	Simulated annealing methods	Neste artigo, utilizou-se um Simulated annealing com base na população para a obtenção de uma solução para um CVRP. Este estudo foi aplicado a 91 casos de referência, apresentando um melhor desempenho que outros métodos de última geração em muitas instâncias.



# DESENVOLVIMENTO

- 3.1 Enquadramento global da situação inicial
- 3.2 Fluxo logístico na ATEPELI
- 3.3 Fluxo logístico interno
- 3.4 Processo de embalamento
- 3.5 Situação inicial
- 3.6 Metodologia: Estado Futuro



## 3 DESENVOLVIMENTO

### 3.1 Enquadramento global da situação inicial

Após a revisão de literatura referentes às diferentes abordagens ao problema de planeamento de rotas, constatou-se quais os melhores métodos para aplicar no problema em causa. De acordo com os dados recolhidos, à priori, trata-se de um problema de VRP com janelas temporais (VRPTW). As janelas temporais são impostas pelos clientes. Relativamente há frota, há liberdade de escolha entre uma frota homogénea ou heterogénea, pelo que não existe qualquer impedimento neste nível.

No decorrer de uma rota, cada cliente pode ser visitado apenas uma vez. Em concordância com a globalidade dos VRP apresentados, a capacidade dos veículos deve ser respeitada.

A rota deve ter um ponto de partida convencionado (entre Ponte de Lima e Penafiel), sendo que nem todas tem de terminar nesse ponto, já que não há recolha em todos os clientes.

Todos os sistemas de distribuição têm um grau de incerteza associado. Este pode vir da variação da procura, dos tempos/taxas de serviço e localização de clientes. Para minimizar a ambiguidade dos elementos referidos, podem ser usados dois modelos: rotas flexíveis ou rotas permanentes. Tendo em conta a pouca variabilidade da procura e da taxa de serviço dos clientes, faz sentido utilizar rotas fixas. Estas ambiguidades tem um impacto elevado na organização, uma vez que a produção é *make to order* e a procura altera consoante a altura do ano (devido à mudança de coleções).

Tendo em conta a sinergia entre os clientes e a empresa, revela-se positivo o pensamento de incorporar uma cadeia de distribuição circular com a utilização de metodologias da Indústria 4.0. Algumas aplicações que iriam impactar o roteamento seria a utilização de caixas retornáveis (uniformização do tamanho das embalagens e redução do desperdício) e utilizar métodos de rastreamento das mesmas de modo a dar uma visibilidade mais realista e fidedigna de onde estão as encomendas.

### 3.2 Fluxo logístico na ATEPELI

Nos diversos ateliers do grupo, o fluxo de materiais segue dois percursos diferentes. Por um lado, temos o fluxo *acheté* e, por outro, o fluxo *fabriqué*. No primeiro, a matéria-prima é comprada na totalidade pelos fornecedores da ATEPELI e o processo de corte é realizado internamente, enquanto, no segundo, a pele e as peças metálicas são compradas pelo cliente sendo que este realiza o processo de corte, enviando *a posteriori* a matéria para a ATEPELI.

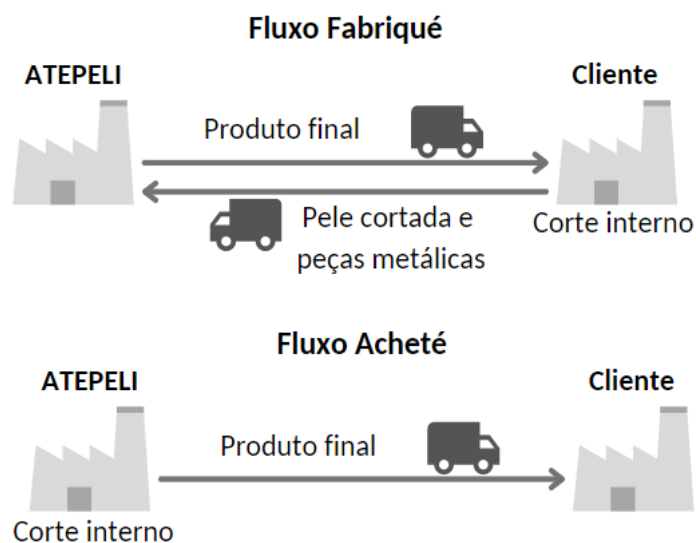


Figura 9 - Diferentes fluxos presentes na ATEPELI

O objetivo pretendido no âmbito da otimização da rede e fluxo de transportes, passa por encontrar oportunidades de melhoria, de modo a obter uma redução de custos globais significativa (entre 15% a 25%). Para tal, é imperativo que o nível de serviço se mantenha ou obtenha algum tipo de ganho e a garantia de que o *lead time* (LT) definido pelo grupo é cumprido.

### 3.3 Fluxo logístico interno

O fluxo logístico interno na ATEPELI, por vezes mostrava ser um problema para o nível de serviço por diversas razões. Por essa razão, fez-se um procedimento simples com o objetivo de seguir as encomendas. Este passava por colocar um código de barras na ficha de autocontrolo (esta ficha segue sempre a encomenda desde o início do seu processo até ao seu embalamento) e à medida que passava pelos postos de trabalho, era registado onde estava. Assim, no caso de algum atraso de produção era possível verificar onde este aconteceu e tomar medidas relativamente ao mesmo.

### 3.4 Processo de embalagem

Um dos grandes gastos da ATEPELI é na embalagem das peças finalizadas. Inicialmente, usavam-se cinco tipos de caixas de diferentes tamanhos para embalar as encomendas de acordo com a sua ordem de fabrico, das quais, algumas excessivamente grandes. No entanto, verificou-se que não havia necessidade de tanta variedade de caixas, uma vez que algumas raramente eram utilizadas. Assim, optou-se por apenas três (Anexo B) das referências, todas com um comprimento de 60 cm e largura de 40 cm, mas com alturas diferentes: 4 cm, 8 cm e 12 cm. Estas alturas foram pensadas de forma que quando dispostas numa paleta, estas caixas evitem a existência de espaço sem encomendas no topo da paleta. Isto foi feito, principalmente devido aos clientes existentes nos Estados Unidos da América. Nestes, a mercadoria vai de avião, logo o pagamento é feito ao volume, uma vez que o produto acabado é leve e raramente é possível alcançar o peso necessário para passar a pagar pelo peso enviado.

Como referido, o processo de embalagem era realizado de acordo com a ordem de fabrico interna. No entanto, faria todo o sentido passar a embalar de acordo com a ordem de encomenda realizada pelo cliente (PO – *Purchase Order*). Deste modo, definiu-se um procedimento de embalagem de modo a avançar com este processo.

Aliando estes dois pontos, diminuição das referências das caixas e embalagem ao PO, resultou uma diminuição da quantidade de paletes enviadas como é possível verificar no Gráfico 1 em que a quantidade de paletes enviadas diminuiu apesar da quantidade de peças presentes no interior da caixa se manter.

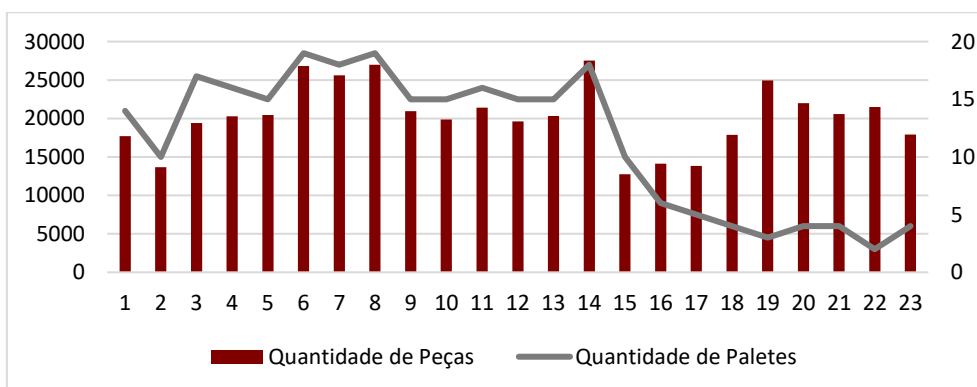


Gráfico 1 – Quantidade de Peças VS Quantidade de Paletes enviadas

### 3.5 Situação inicial do roteamento

A rede de transportes atual da ATEPELI oferece um prazo de entrega máximo de quatro semanas (Figura 10) aos seus clientes, desde o momento em que a encomenda é feita. Para os Estados Unidos da América (EUA) é utilizado o transporte aéreo, enquanto para França e Espanha (matéria sobre a qual este estudo se debruça) são usadas carrinhas, totalizando um custo anual de aproximadamente 2 M € (entre rotas, táxis e expressos). Com o panorama atual, na Europa, a ATEPELI tem 21 destinos, satisfeitos por 25 rotas.

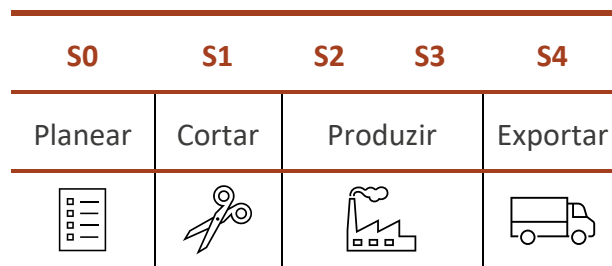


Figura 10 - Lead Time máximo de exportação

#### 3.5.1 Análise de rotas iniciais

De modo a identificar os maiores problemas e perceber quais os pontos onde o nível de melhoria é superior, fez-se uma análise detalhada de cada rota. Verificou-se que existem várias rotas que se cruzam, ou seja, diferentes motoristas, no mesmo dia, entregam mercadoria em locais próximos (assinalados na Figura 11 a vermelho).

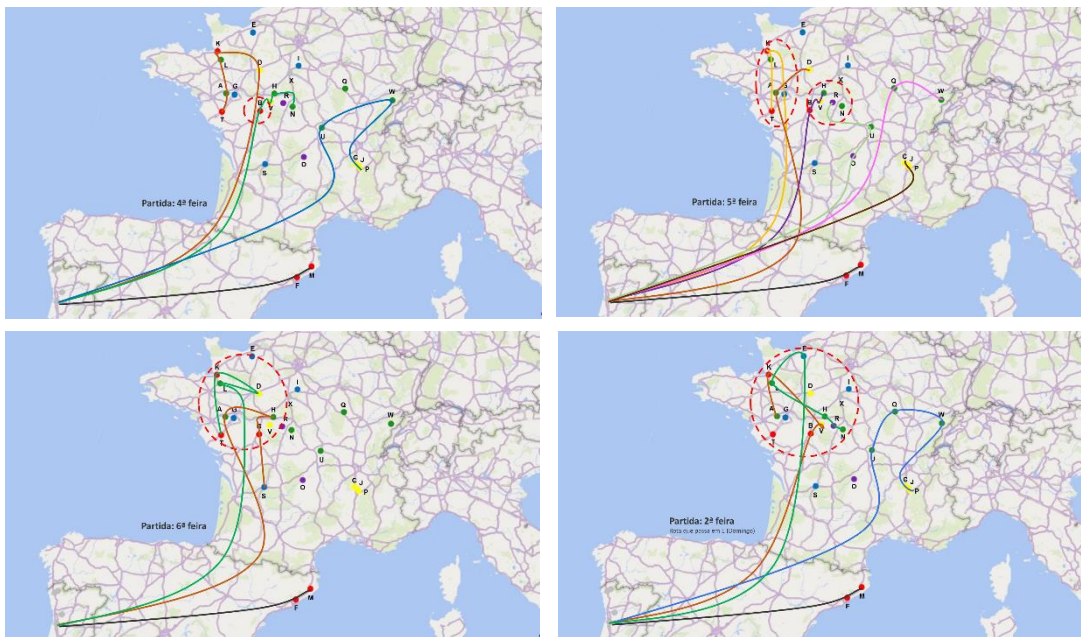


Figura 11 - Interceção de rotas nos diferentes dias

Um outro aspeto que se mostrou relevante foi a existência de mais do que uma entrega diária a alguns clientes, nomeadamente na sexta-feira (de manhã e de tarde).

Analisando os dados das rotas, fica claro que existe uma grande variabilidade de indicadores de ocupação (entre 36 % e 93 %) e de custo (entre 0.77 €/km e 1.10 €/km; entre 381 €/palete e 914 €/palete) entre as mesmas. À primeira vista, as rotas de Espanha (F e M), são as mais preocupantes visto que são servidas diariamente e apresentam uma taxa de ocupação média inferior a 45 %.

#### Análise da tendência de ocupação

As rotas com menor ocupação, ao contrário do esperado, não são o resultado da capacidade do veículo nem do número de quilómetros percorridos, mas sim devido à necessidade de fornecer um elevado nível de serviço (frequência de entrega) a clientes com um baixo volume associado. No caso, 45 % das rotas estão ocupadas por menos de 70 % de capacidade do veículo, sendo grande parte das mesmas para abastecer os clientes F e M (marcados a verde), ou então clientes exclusivos do Atelier de Ponte de Lima (marcados a laranja) que apresentam um volume reduzido de encomendas.

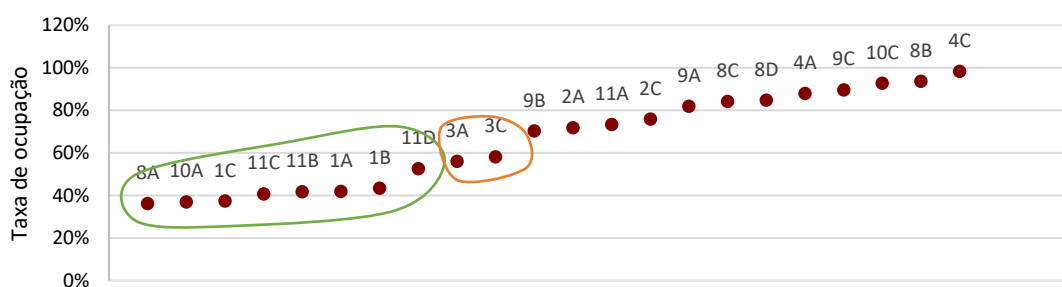


Gráfico 2 - Tendência de ocupação das rotas

#### Análise da tendência de custo

Relativamente aos custos associados a cada rota, pode-se verificar pela análise dos Gráficos 3 e 4 que o fator apresenta um maior impacto no preço é o número de quilómetros percorridos e não a capacidade do veículo, no entanto, para alguns percursos há uma variação de valores para a mesma quilometragem.

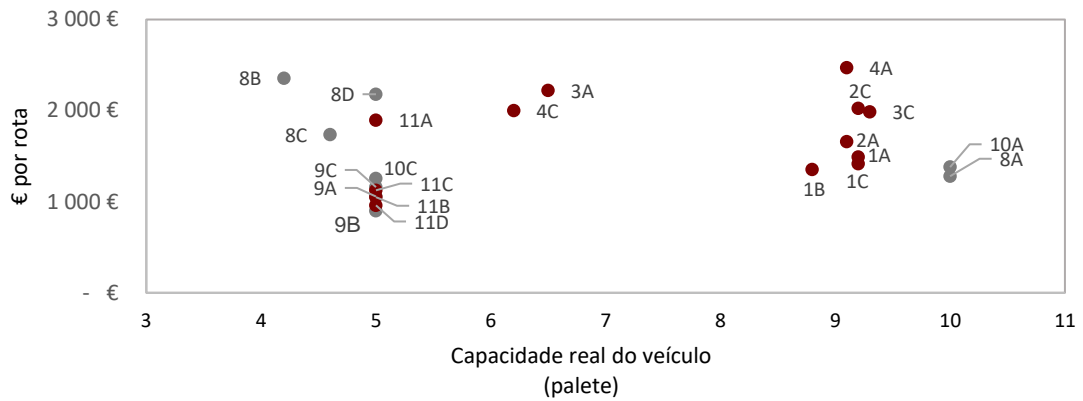


Gráfico 3 - Evolução do preço das rotas com a capacidade dos veículos

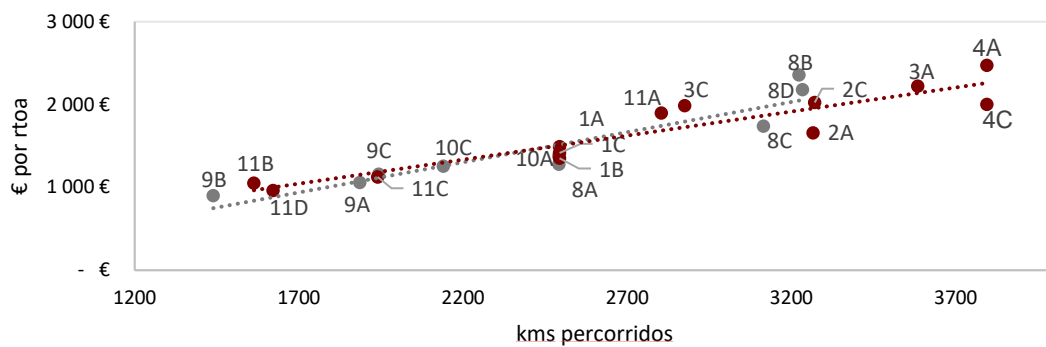


Gráfico 4 - Evolução do preço com a evolução dos quilómetros percorridos

Análise da tendência de Ocupação vs. Custo

Através da comparação entre os dois dados acima referidos, podemos concluir que quando as rotas estão com maior ocupação (carrinhas mais carregadas), o preço aumenta, verificando uma tendência ascendente.

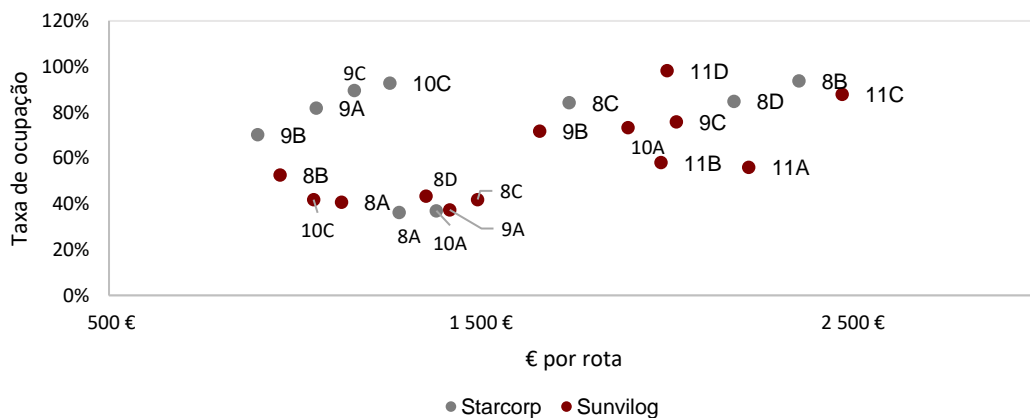


Gráfico 5 - Custo versus Ocupação

### 3.5.2 Conclusão do estado inicial

Com a análise do estado atual foram identificados quatro problemas principais: falta de dados, duplicação e não otimização de rotas, frequência de entregas distintas e baixa ocupação dos veículos. Na Tabela 5, apresenta-se um quadro resumo que aglomera todos os problemas referidos anteriormente de uma forma mais condensada.

Tabela 5 - Quadro resumo dos principais problemas da situação inicial

Falta de dados	Duplicação de rotas e falta de otimização	Diferentes frequências de entrega	Baixa ocupação dos veículos
<p>Dados de importação não estão consolidados.</p> <p>A tipologia das caixas reportada não corresponde à realidade.</p> <p>Variação dos standards relativamente à criação de paletes entre ateliers.</p>	<p>Há saída de mercadoria para alguns clientes duas vezes às sextas-feiras (clientes: A, B, D, F, H, K, L e M).</p> <p>Existem rotas que no mesmo dia se cruzam, entregando a clientes próximos.</p>	<p>Não existem aglomerados geográficos de clientes com frequência de entrega semelhante, impedindo a utilização deste critério para a formulação do problema.</p>	<p>Discrepância da taxa de ocupação dos veículos (entre 36% e 93%).</p> <p>Cerca de 45% das rotas tem uma ocupação inferior a 70% da capacidade do veículo.</p> <p>As rotas espanholas têm uma ocupação média inferior a 45%.</p>

### 3.6 Metodologia: Estado Futuro

De modo a desenhar e estudar os diferentes cenários que este problema tem a oferecer, aplicou-se uma metodologia denominada de *Modelação Quantitativa* que é usada para construir um modelo e simular diferentes cenários que permitem realizar diferentes análises, alterando os *inputs* das mesmas.

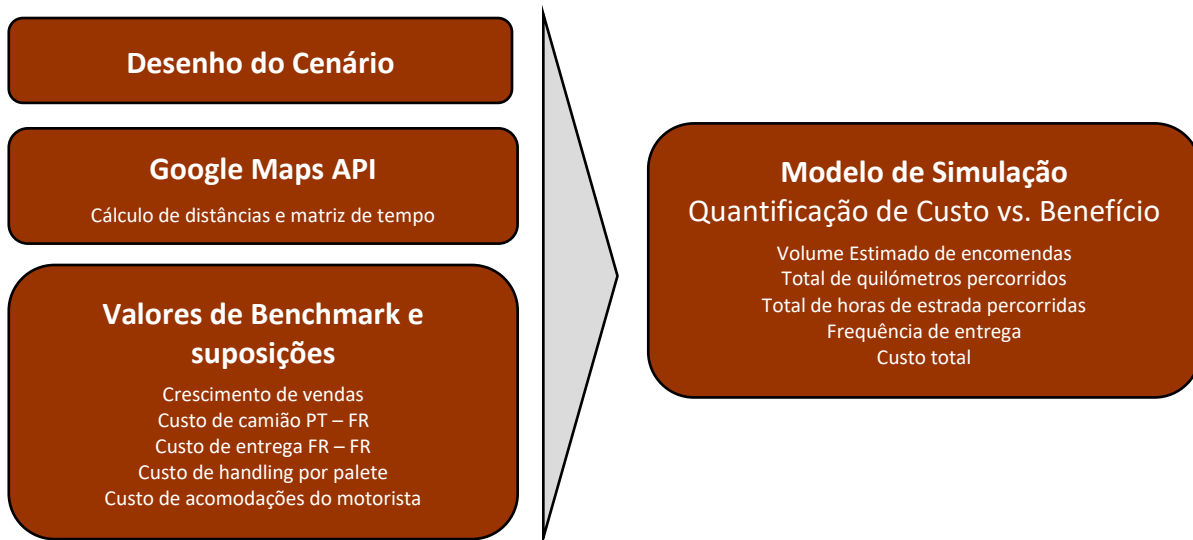


Figura 12 - Modelação Quantitativa

### 3.6.1 Modelo de distribuição desejado

Tendo em conta o estado constante de evolução que a ATEPELI apresenta, há necessidade de adaptar as rotas atuais ou então formular um sistema completamente novo que permita combater as necessidades dos clientes.

Após uma análise bastante profunda, chegou-se à conclusão que o cenário mais benéfico passaria por incorporar um centro de *crossdocking* em França e a partir desse ponto realizar um *milk run*. Para reduzir os gastos desta operação, ponderou-se em utilizar um armazém central da empresa localizado em Orléans (este centro mostrou-se adequado já que, pelo método gravítico, a melhor localização para um armazém é em Perrusson, o que é relativamente perto). Deste modo, pode-se utilizar um longo curso de todos os clientes, em camião, que passa pelos clientes espanhóis e, aí, faz-se uma distribuição capilar pelos restantes clientes, em carrinha. De salientar que todos os veículos devem ser exclusivos quando estão ao serviço da ATEPELI – Ateliers de Portugal, da mesma forma que devem respeitar as janelas temporais impostas pelos clientes.

#### Dados iniciais

Cada cliente tem uma procura associada, sendo esta apresentada em quantidade de paletes na Tabela 6.

Tabela 6 – Procura Semanal dos Clientes

Cliente	Procura Semanal	Cliente	Procura Semanal
A	10,0	L	5,0
B	15,0	M	5,0
C	5,0	N	5,0
D	5,0	O	2,5
E	2,5	P	10,0
F	2,5	Q	10,0
G	5,0	R	2,5
H	5,0	S	5,0
I	10,0	T	15
J	5,0	U	5
K	7,5		

De momento, a ATEPELI – Ateliers de Portugal, tem alocados a si, cinco veículos com capacidade (10 paletes) e consumos (10L/100km) semelhantes.

#### Pressupostos

Para definir as diferentes rotas necessárias, foi necessário ter em conta alguns pressupostos fundamentais. Os primeiros, são a distância e tempos entre cada cliente e o armazém central, estando as suas matrizes representadas no Anexo C. Outro tópico bastante importante nesta etapa é o cumprimento das janelas temporais impostas pelos clientes (Tabela 7).

Tabela 7 – Janelas temporais dos clientes

Cliente	Hora de entrada	Hora de saída	Cliente	Hora de entrada	Hora de saída
A	08:00:00	16:30:00	L	07:30:00	16:00:00
B	07:00:00	15:45:00	M	08:00:00	16:30:00
C	07:40:00	16:45:00	N	07:30:00	16:15:00
D	07:00:00	17:00:00	O	06:00:00	15:30:00
E	08:00:00	12:00:00	P	07:30:00	20:30:00
F	06:30:00	18:00:00	Q	07:30:00	20:30:00
G	09:00:00	17:00:00	R	08:00:00	17:00:00
H	06:00:00	17:00:00	S	07:30:00	17:00:00
I	07:30:00	20:30:00	T	06:00:00	14:00:00
J	08:00:00	16:00:00	U	06:00:00	14:00:00
K	07:00:00	20:30:00			

Outros valores bastante importantes para os cálculos dos custos associados a cada uma das rotas, são os valores do combustível por litro, *handling*, entre outros. Como tal,

através de *benchmark* com transportadoras e restantes Ateliers do grupo, foi possível chegar aos seguintes valores:

- Preço do combustível: 1,86 €/L em França e 2,00 €/L em Portugal;
- Handling no camião: 225€/mês;
- Amortização do veículo (em 10 anos): 1000€/mês;
- Salário do condutor em França: 3000€/mês.

### 3.6.2 Método Gravítico

Para verificar qual o local ideal para a localização do armazém, recorreu-se ao Método do Gravítico. Este, permite através de iterações minimizar a distância ponderada entre clientes e armazém. Desta forma, para a utilização deste método é necessário recorrer à localização dos clientes e à sua procura.

Sendo que, para a primeira iteração é necessário aplicar as seguintes equações:

$$x = \frac{\sum_{j=1}^n W_j \times x_j}{\sum_{j=1}^n W_j}$$

$$y = \frac{\sum_{j=1}^n W_j \times y_j}{\sum_{j=1}^n W_j}$$

Onde:

- (x;y) referem-se às coordenadas (latitude, longitude) do armazém;
- (x<sub>j</sub>;y<sub>j</sub>) referem-se às coordenadas do cliente j;
- W<sub>i</sub> corresponde à procura total em paletes do cliente i;

E para as restantes iterações foram obtidas através das seguintes equações:

$$x^i = \frac{\sum_j \frac{W_j \times x_j}{d_j^{j-1}}}{\sum_j \frac{W_j}{d_j^{j-1}}}$$

$$y^i = \frac{\sum_j \frac{W_j \times y_j}{d_j^{j-1}}}{\sum_j \frac{W_j}{d_j^{j-1}}}$$

Onde:

- $(x;y)$  referem-se às coordenadas (latitude, longitude) do armazém;
- $(x_j;y_j)$  referem-se às coordenadas do cliente  $j$ ;
- $W_i$  corresponde à procura total em paletes do cliente  $i$ ;
- $d_j = \sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2}$  corresponde a distância ao cliente  $j$ .

Assim sendo, e usando o Excel Solver, foi necessário recorrer-se a 19 iterações para obter a nova localização mais satisfatório do armazém. Deste modo, o ideal seria que o armazém deixasse de estar localizado em Orléans (47,986; 1,883) e passasse a estar localizado em Perrusson (47,079; 1,014).

### 3.6.3 Parâmetros para a formulação matemática

Tendo em conta que a parte mais trabalhosa do problema se encontra na distribuição capilar a partir de Orléans, a formulação matemática vai-se debruçar sobre essa mesma questão.

Descrevendo a formulação matemática, esta tem como objetivo diminuir o custo associado a cada veículo ( $k$ ,  $k = 1, 2, \dots, m$ ) na entrega de carga entre os pontos  $i$  e  $j$ , sendo  $i$  e  $j$  qualquer cliente  $A, B, \dots, n$ .

#### **JANELAS TEMPORAIS**

$[e_i, l_i], e_i \leq l_i$  Janelas temporais para cada cliente  $i$

$s_i$  Tempo de serviço do cliente  $i$

#### **VARIÁVEIS DE DECISÃO**

$x_{ji}^k = \begin{cases} 1, & \text{se } j \text{ for fornecido e depois } i \text{ pelo veículo } k \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

$b_i^k =$  momento em que o serviço começa no cliente  $i$  pelo veículo  $k$ ,

com  $i = A, B, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m$

$y_i^k =$  fração da procura do cliente  $i$  entregue pelo veículo  $k$

Em adição às variáveis de decisão, o modelo matemático, apresenta os parâmetros descritos na Tabela 8.

Tabela 8 – Parâmetros do modelo matemático

Parâmetro	Descrição
$n$	Número de clientes.
$m$	Número de veículos.
$e_i$	Janela temporal superior do cliente $i$ .
$l_i$	Janela temporal inferior do cliente $i$ .
$y_i^k$	Procura do cliente $i$ associada ao veículo $k$ .
$a_k$	Capacidade máxima do veículo $k$ .
$s_i$	Tempo de serviço do cliente $i$ .
$M$	Constante com valor elevado, de modo a garantir a veracidade das restrições.

**FUNÇÃO OBJETIVO:**

$$\text{minimizar custo das rotas} = \sum_{i=A}^n \sum_{j=A}^n \sum_{k=1}^6 d_{ij}^k c_{ij}^k \quad (3.1)$$

**SUJEITO ÀS SEGUINTE RESTRIÇÕES:**

$$\sum_{j=A}^n x_{0j}^k = 1, k = 1, 2, \dots, m \quad (3.2)$$

$$\sum_{i=A}^n x_{ip}^k - \sum_{j=A}^n x_{pj}^k = 0, p = A, B, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m \quad (3.3)$$

$$\sum_{k=1}^6 y_i^k = 1, i = A, B, \dots, n \quad (3.4)$$

$$\sum_{k=1}^6 \sum_{i=A}^n x_{ij}^k \geq 1, j = A, B, \dots, n \quad (3.5)$$

$$\sum_{i=A}^n q_i y_i^k \leq a_k, k = 1, 2, \dots, m \quad (3.6)$$

$$y_i^k \leq \sum_{j=A}^n x_{ij}^k, i = A, B, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m \quad (3.7)$$

$$b_i^k + s_i + t_{ij} - M_{ij}(1 - x_{ij}^k) \leq b_j^k, i = A, B, \dots, n; j = A, B, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m \quad (3.8)$$

$$e_i \leq b_i^k \leq l_i, i = A, B, \dots, n \quad (3.9)$$

$$y_i^k \geq 0, i = A, B, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m \quad (3.10)$$

$$b_i^k \geq 0, i = A, B, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m \quad (3.11)$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\}, i = A, B, \dots, n; j = A, B, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m \quad (3.12)$$

Este modelo matemático VRPTW assegura, através da função objetivo (3.1), que o custo associado a cada rota realizada no *milk-run*, vai ser minimizado.

A primeira restrição (3.2), garante que cada veículo sairá do armazém central e chegará a um determinado cliente. A segunda (3.3), assegura que cada veículo deixará um determinado cliente e chegará novamente ao centro da distribuição. As terceira (3.4) e quarta (3.5) restrições, protegem o cliente na medida em que toda a sua procura será atendida e que será visitado pelo menos uma vez por pelo menos um veículo, respetivamente. A restrição seguinte (3.6), apenas indica que o veículo não pode transportar mais carga do que a sua capacidade máxima. A equação (3.7) assegura que a procura de cada cliente só será atendida se um determinado veículo passar por esse mesmo cliente. Na equação (3.8), está presente a letra M, que representa um número majorante relativamente aos restante (número muito grande) para garantir a veracidade das restrições. Esta serve para definir um tempo mínimo para iniciar o serviço do cliente j numa determinada rota e eliminar as subrotas possíveis. A equação seguinte (3.9), garante que todas as janelas temporais impostas pelos clientes serão respeitadas. A penúltima e antepenúltima restrições restringem a procura de todo e qualquer cliente a um valor igual ou superior a zero, assim como garantem que o momento em que o serviço começa no cliente i pelo veículo k, tem valores positivos, respetivamente. Para finalizar, a (3.12) assume que o valor da variável de decisão  $x_{ij}^k$  é binário, definindo assim o domínio da variável.

### 3.6.4 Implementação e resultados

Aquando da análise do longo curso até Espanha e depois até França, constatou-se que a rota traçada até Orléans passava bastante perto de dois clientes: L e K (Figura 13).

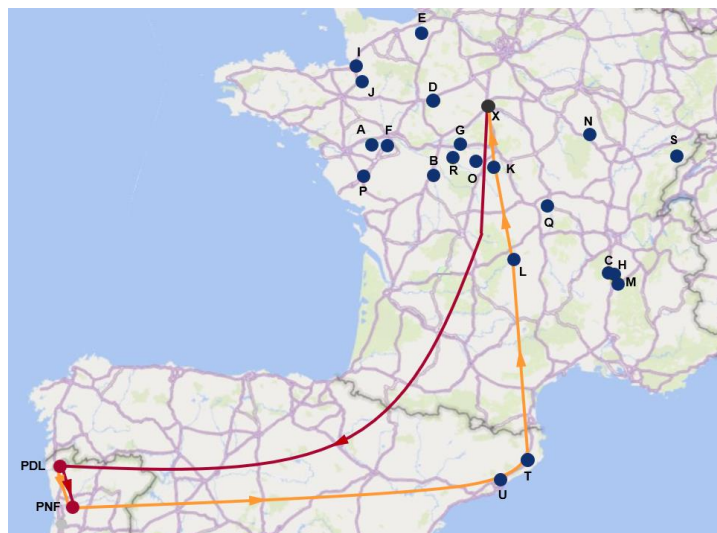


Figura 13 – Rotas de longo curso (ida e volta)

Assim, faria sentido para além de incorporar os clientes espanhóis no longo curso, fazer o mesmo com estes franceses. Deste modo, haveria duas rotas de longo curso, uma de ida com início em PDL, passando posteriormente em PNF, U, T, L, K e acabando em X (Orléans) com um total de 1730,6 km, e uma de retorno direta de X até PDL que posteriormente seguiria para PNF para terminar o seu percurso (1140,78 km). Considerando alguns valores obtidos através do contacto com algumas transportadoras e de modo a cobrir alguns valores que podem oscilar com o passar do tempo, considerou-se que o custo do longo curso apresentará um custo de 1€/km. Deste modo, considerando o referido anteriormente, com estas paragens nos clientes, estas rotas valerão cerca de 2871,38€.

Chega agora a etapa mais complexa e a razão da utilização do software de otimização *IBM CPLEX 12.8.0.0*: o *milk-run*. Todos os cenários previstos para este efeito foram fruto da aplicação do modelo acima descrito no software. A partir das soluções fornecidas pelo modelo, foi possível retirar algumas conclusões. Assim como para o longo curso, foi bastante estudado o preço aplicado o mercado no que toca a quilometragem. O mais utilizado pelas transportadoras é obtido pela ponderação entre o salário do motorista (em França, no caso), consumo da carrinha, custo do combustível, amortização do veículo e evidentemente alguma margem de lucro. Desta forma, o valor a que se chegou foi de cerca de 0,70€/km.

Devido ao nível de serviço relativamente baixo da ATEPELI – Ateliers de Portugal, optou-se por realizar os longos cursos e *milk-runs* diários de modo a tentar suplantar esta dificuldade.

## Cenário 1

Neste cenário, optou-se por mostrar como é que o modelo se comportaria com o fluxo de material regular, isto é, com cinco veículos disponíveis, armazém no ponto X e procura diária de acordo com o valor médio. Verificou-se que não seriam necessários os cinco veículos, apenas quatro, originando as seguintes rotas:

- |                                      |                           |
|--------------------------------------|---------------------------|
| 1: X → G → X                         | Paletes na carrinha: 1/10 |
| 2: X → E → I → J → A → P → F → D → X | Paletes na carrinha: 9/10 |
| 3: X → Q → C → H → M → S → N → X     | Paletes na carrinha: 7/10 |
| 4: X → O → B → R → X                 | Paletes na carrinha: 4/10 |

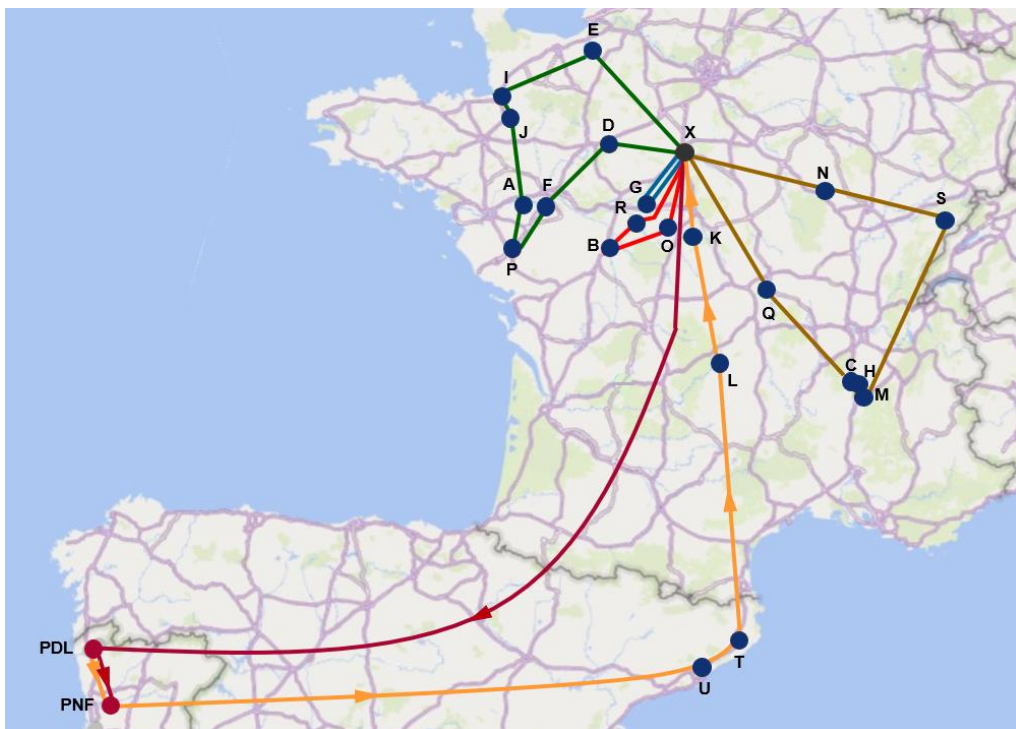


Figura 14 – Rotas do Cenário 1

A solução apresentada pelo modelo seria de 2530,07 km para o milk-run. Considerando, o preço a 0,70€/km, dá 1771,5€/dia. Em contrapartida, é possível observar pelo mapa que o cliente G localiza-se nas proximidades dos clientes O, B e R. Assim, faria sentido, uma vez que a carrinha que transporta a mercadoria desses clientes ainda apresenta mais de metade do espaço disponível, realizar a entrega de H na carrinha 2. Este cenário será revisto posteriormente (Cenário 3).

## Cenário 2

Neste segundo cenário, optou-se por verificar qual a reação do modelo ao encontrar o dobro da procura usual. Verificou-se que todos os veículos seriam necessários e quase todos no máximo da sua capacidade, ou seja, se houve um aumento mais acentuado por

parte de alguns clientes, seria necessário alocar mais veículos à empresa, no entanto, pelo histórico, nunca houve tal aumento.

- |                              |                            |
|------------------------------|----------------------------|
| 1: X → G → R → B → O → X     | Paletes na carrinha: 10/10 |
| 2: X → N → S → M → H → C → X | Paletes na carrinha: 10/10 |
| 3: X → P → A → F → X         | Paletes na carrinha: 9/10  |
| 4: X → Q → X                 | Paletes na carrinha: 4/10  |
| 5: X → E → I → J → D → X     | Paletes na carrinha: 9/10  |

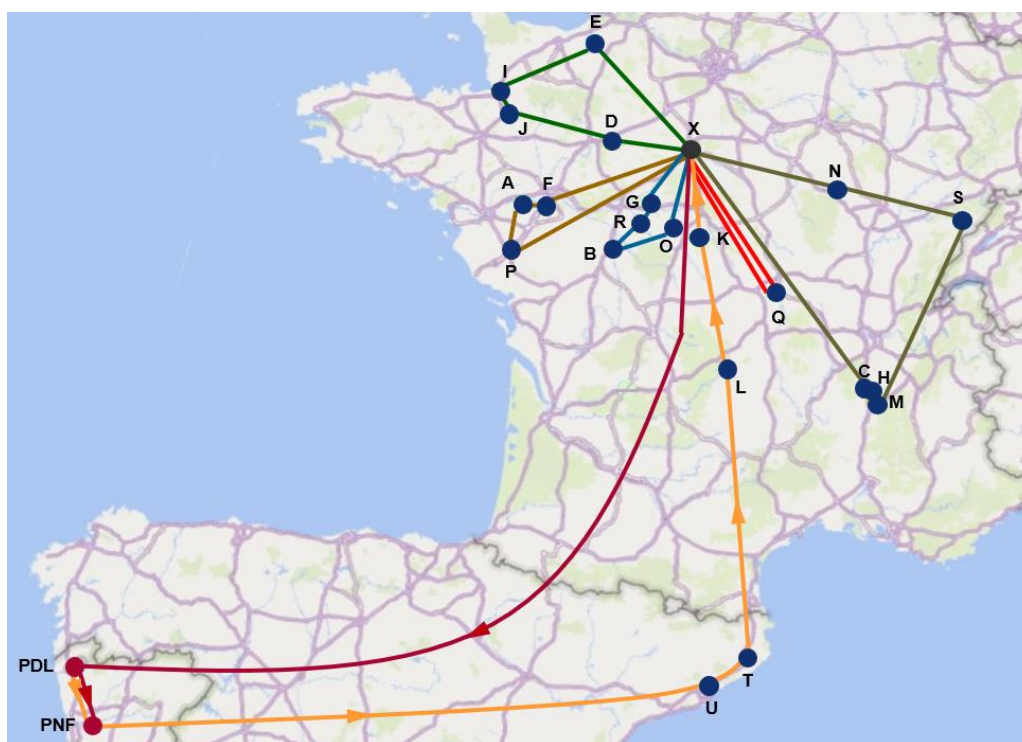


Figura 15 – Rotas do Cenário 2

A solução apresentada pelo modelo seria de 2926,71 km para o milk-run. Considerando, o preço a 0,70€/km, dá 2048,7€/dia.

### Cenário 3

Este cenário, apesar de improvável, foi realizado no caso de não haver veículos disponíveis para realizar o milk-run. Assim, diminuiu-se para três veículos, acontecendo o expectável: o cliente G juntou à rota dos clientes R, B e O.

- |                                      |                           |
|--------------------------------------|---------------------------|
| 1: X → Q → C → H → M → S → N → X     | Paletes na carrinha: 7/10 |
| 2: X → E → I → J → A → P → F → D → X | Paletes na carrinha: 9/10 |
| 3: X → G → R → B → O → X             | Paletes na carrinha: 5/10 |

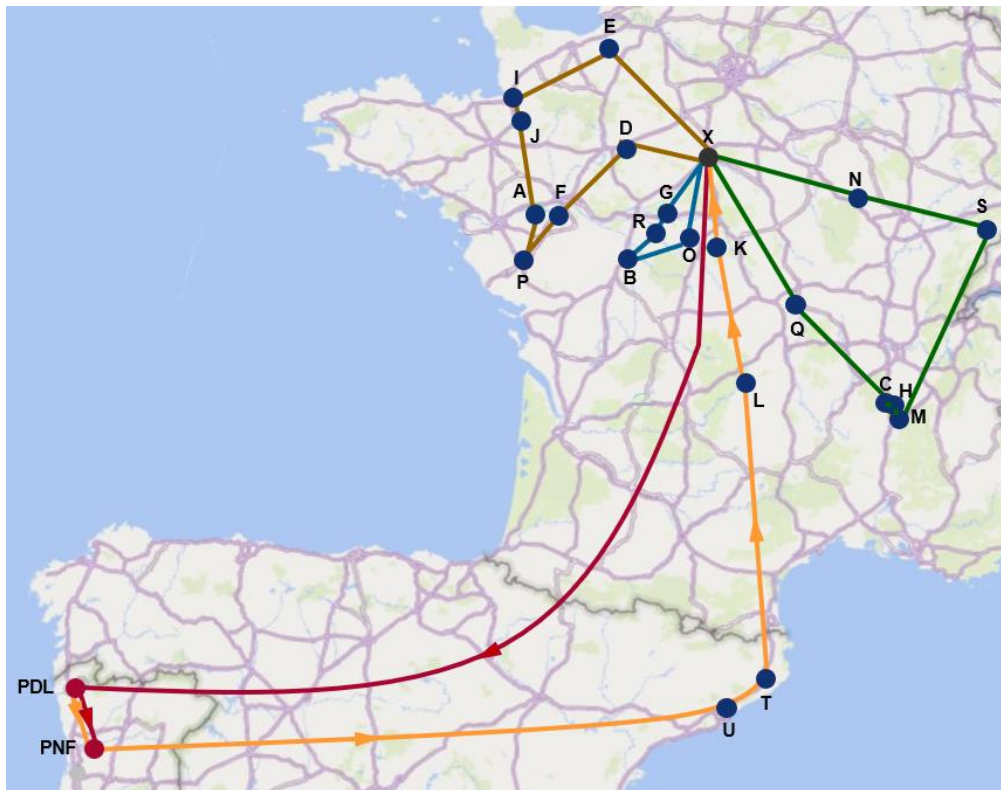


Figura 16 – Rotas do Cenário 3

A solução apresentada pelo modelo seria de 2175,92 km para o milk-run. Considerando, o preço a 0,70€/km, dá 1523,1€/dia.

#### Cenário 4

Na quinta instância, verificou-se qual seria o impacto causado se houvesse uma diminuição de 40% nas janelas temporais (20% na inicial e final). Mais uma vez, verificou-se uma falta de otimização dos veículos.

1: X → R → B → O → X	Paletes na carrinha: 4/10
2: X → D → X	Paletes na carrinha: 1/10
3: X → E → I → J → A → P → F → X	Paletes na carrinha: 8/10
4: X → G → X	Paletes na carrinha: 1/10
5: X → N → S → M → H → C → Q → X	Paletes na carrinha: 7/10



Figura 17 – Rotas do Cenário 4

A solução apresentada pelo modelo seria de 2536,36 km para o milk-run. Considerando, o preço a 0,70€/km, dá 1775,5€/dia.

#### Cenário 5

No quarto cenário, verificou-se qual o impacto sentido se o ponto de partida e final do milk-run fosse o indicado pelo método gravítico: Perrusson (Z). Devido à alteração geográfica do centro de *crossdocking*, os clientes K e L já não intersectam o a rota de longo curso para França. Deste modo, faria sentido integrá-los no milk-run. Assim, a distância percorrida de Portugal para França seria de 1602,3km e de França para Portugal, 1008,65km, totalizando 2610,95 € de longo curso.

Como seria de esperar, notou-se uma grande diminuição da distância percorrida, mantendo a falta de necessidade de cinco veículos (os clientes B e R podiam estar no mesmo veículo).

- |  |                            |
|--|----------------------------|
| 1: Z → O → L → C → H → M → S → N → Q → K → Z | Paletes na carrinha: 9/10  |
| 2: Z → B → Z                                 | Paletes na carrinha: 3/10  |
| 3: Z → R → Z                                 | Paletes na carrinha: 1/10  |
| 4: Z → G → D → E → I → J → A → P → F → Z     | Paletes na carrinha: 10/10 |

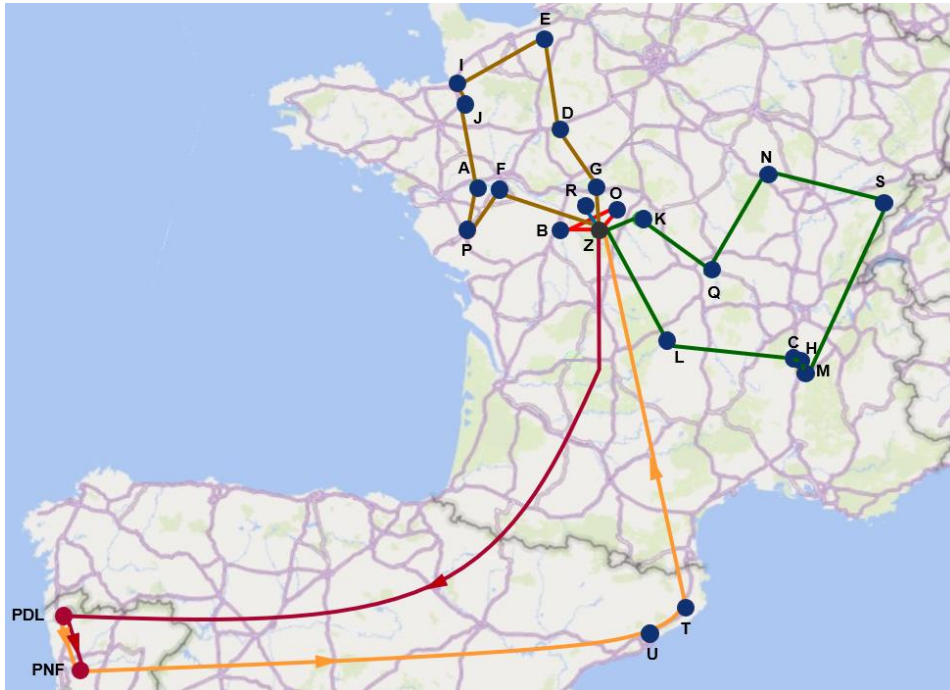


Figura 18 – Rotas do Cenário 5

A solução apresentada pelo modelo seria de 2154,09 km para o milk-run. Considerando, o preço a 0,70€/km, dá 1507,9€/dia.

### 3.7 Conclusões

Na Tabela 9, é possível comparar os diferentes cenários e retirar algumas conclusões pertinentes. De um modo geral, verifica-se que os cenários que representaram um maior gasto foram o 2 e o 4. Tal acontece devido às restrições extremas a que foram submetidos (dobro da procura e diminuição das janelas temporais em 40%, respetivamente). Estas restrições implicaram o aumento da utilização dos veículos (foram os únicos cenários que utilizaram cinco veículos). Os cenários com valores mais simpáticos foram o 3 e o 5. O primeiro teve uma diminuição do número de veículos, o que por si só é uma vantagem uma vez que não há tantos gastos nesse sentido. O segundo, mostrou que é benéfico utilizar um armazém em Perruson, no entanto, devido à ineficiência na ocupação de veículos (utilização de 4 em vez de 3 veículos), a variação dos custos não é tão exorbitante quanto o expectável.

Tabela 9 – Quadro resumo de comparação dos diferentes cenários

<b>Cenário</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Local do centro de distribuição</b>	Orléans	Orléans	Orléans	Orléans	<b>Perrusson</b>
<b>Distância percorrida (km)</b>	2530,07	2926,71	2175,92	2536,36	2154,09
<b>Custo (longo curso mais milk-run, €)</b>	4642,88	4920,08	4394,48	4646,88	4379,28
<b>Quantidade de veículos utilizados</b>	4	5	<b>3</b>	5	4
<b>Alteração da procura dos clientes</b>	-	<b>X2</b>	-	-	-
<b>Alteração das janelas temporais</b>	-	-	-	<b>-40%</b>	-
<b>Varição do gasto relativamente ao cenário 1</b>	-	+9,65%	-5,35%	+0,09%	-5,68%

# CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

- 4.1 Conclusões
- 4.2 Propostas de trabalhos futuros
- 4.3 Trabalhos desenvolvidos e principais contributos



## 4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

Durante a realização desta dissertação, foi desenvolvida uma ferramenta de apoio à decisão com o principal propósito de otimizar, a nível económico, o fluxo de transportes da matéria final para os clientes a sudoeste da Europa. Desta forma, neste capítulo expõe-se todas as dificuldades, o impacto criado assim como trabalhos futuros que trataram melhores resultados.

### 4.1 Conclusões

Os objetivos propostos para este trabalho foram todos superados com sucesso. Relativamente ao seguimento das encomendas na produção, o simples facto de acrescentar um código de barras para cada posto de trabalho na ficha de autocontrolo, melhorou significativamente o fluxo. Com isto, foi possível verificar que muitas encomendas passavam o seu “prazo de entrega” por estarem estagnadas na produção. No seguimento do processo de embalamento, notou-se a descida drástica do número de paletes. Este tópico é bastante importante para o tema fulcral deste trabalho, uma vez que com a diminuição das paletes, diminuem também os gastos monetários ao nível do transporte.

Tendo em vista o processo de roteamento realizado até à atualidade (22 rotas semanais) torna-se evidente a necessidade de atualizar este método. Para tal, utilizou-se uma ferramenta de apoio à decisão cuja função primordial é reduzir os custos de transporte.

Através da análise de uma vasta quantidade de artigos e casos de estudo, verificou-se que o problema em causa seria um VRPTW, devido à restrição das janelas temporais de entrega por parte dos clientes.

Através do estudo das restrições impostas pelos clientes, optou-se por realizar um ponto de *crossdocking* num armazém em França. Para tal, seria feito um longo curso, em camião, de Portugal para o dito armazém, a passar nos clientes espanhóis e finalmente, a última milha, em carrinha para a distribuição capilar por todos os clientes franceses. Tentou-se incorporar, sempre que possível, os clientes que eram intersetados pela rota do longo curso.

Foram estudados cinco cenários com diferentes variações para verificar de que modo o modelo responderia às mesmas. O primeiro teria as condições normais, com o centro de distribuição em Orléans, o segundo apenas passaria a ter o dobro da procura, o terceiro, menos veículos, o quarto teria janelas temporais diminuídas e o quinto passaria

ter o seu centro de *crossdocking* em Perrusson (cidade obtida através da aplicação do método gravítico). Verificou-se que obter-se-ia mais ganhos na quinta opção, no entanto, a empresa teria de alugar um armazém para esse efeito, ao contrário do que acontece em Orléans em que o grupo empresarial já tem um armazém central na cidade. Verificou-se que cinco veículos são mais que suficientes para satisfazer o *milk-run* já que em condições exageradas (dobro da procura e redução das janelas temporais em 40%), não foram necessários mais veículos. Em condições normais, sem necessidade de alugar nenhum armazém externo, o melhor cenário seria o terceiro, que garantiria mais de 30% de ganhos monetários, garantindo entrega diária a todos os clientes.

Tornou-se visível que a melhoria deste fluxo é possível e com uma margem de ganhos alargada. Apesar de o resultado ser bastante satisfatório, devido a algumas restrições por parte dos clientes e mesmo da própria empresa, as rotas não estão tão otimizadas quanto o possível.

Um fator que pode ter levado a algum erro de roteamento é a elevada falta de documentação. Apesar do árduo trabalho na busca de documentos que indicassem qual o volume de matéria importada e exportada, estes dados apenas eram fornecidos na base de CMRs mal tratados e mal documentados. No entanto, utilizou-se uma base de dados, criada para o efeito, podendo levar na mesma a erros devido à falta de histórico.

As dificuldades sentidas foram bastantes, principalmente devido à especificidade que um VRPTW acarreta e o nível de experiência que é necessário para saber abordar o problema.

## 4.2 Propostas de trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, é evidente a obrigatoriedade de continuar a alimentar a base de dados de exportação e começar uma para a importação. Este tipo de informação deve ser documentada.

Outro projeto que podia ser implementado é a aplicação de RFID para seguimento das caixas com o produto final. Este projeto seria ainda melhor se complementado com a adaptação das caixas para caixas retornáveis. Neste momento, a ATEPELI já tem uma sinergia elevada com os clientes já que estes devolvem as suas paletes de plástico, não vendo razão para o mesmo não acontecer com as caixas.

### 4.3 Trabalhos desenvolvidos e principais contributos

Como já foi referido, os objetivos propostos foram todos superados positivamente. Uma prova desta afirmação são as várias tarefas secundárias alheias à dissertação que me foram confiadas. Apesar de não acrescentarem grande informação a este documento, foram muito enriquecedoras a nível pessoal e profissional. Assim, algumas das atividades foram:

- Diminuição do fluxo de matéria defeituosa;
- Standardização das caixas das peças conformes;
- Otimização das paletes dos clientes dos EUA;
- Criação de PowerBI, e respetivas bases de dados, para acompanhamento dos projetos;
- Definição das alocações e fluxo de matéria no interior do Atelier de acordo com as regras estabelecidas;
- Seguimento de todos os projetos realizados no armazém (atuais e antigos);
- Procedimentos de embalagem.

Todos estes projetos levaram a empresa a reduzir o custo associado ao fluxo logístico intra e interateliers.



**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES  
DE INFORMAÇÃO**



## 5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- Altabeeb, A. M., Mohsen, A. M., Abualigah, L., & Ghallab, A. (2021). Solving capacitated vehicle routing problem using cooperative firefly algorithm. *Applied Soft Computing*, *108*. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107403>
- Amiri-Aref, M., Shiripour, S., & Ruiz-Hernández, D. (2021). Exact and approximate heuristics for the rectilinear Weber location problem with a line barrier. *Computers and Operations Research*, *132*. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105293>
- Ancele, Y., Hà, M. H., Lersteau, C., Matellini, D. ben, & Nguyen, T. T. (2021). Toward a more flexible VRP with pickup and delivery allowing consolidations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *128*. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103077>
- ATEPELI - Ateliers de Portugal S.A. (2019). *Logótipo ATEPELI*. <https://www.atepeli.com>
- Baldacci, R., Mingozzi, A., & Roberti, R. (2012). Recent exact algorithms for solving the vehicle routing problem under capacity and time window constraints. *European Journal of Operational Research*, *218*(1), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.07.037>
- Boussaïd, I., Lepagnot, J., & Siarry, P. (2013). A survey on optimization metaheuristics. *Information Sciences*, *237*, 82–117. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2013.02.041>
- Cao, Z., Jiang, L., Zhang, M., Shangguan, B., Yue, P., & Liang, Z. (2021, July 26). A method for solving vehicle routing problems with pickup and delivery with time windows for ride-sharing services. *2021 9th International Conference on Agro-Geoinformatics, Agro-Geoinformatics 2021*. <https://doi.org/10.1109/Agro-Geoinformatics50104.2021.9530352>
- Casazza, M., Ceselli, A., & Wolfler Calvo, R. (2018). A branch and price approach for the Split Pickup and Split Delivery VRP. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, *69*, 189–196. <https://doi.org/10.1016/j.endm.2018.07.025>
- Chaieb, M., & ben Sassi, D. (2021). Measuring and evaluating the Home Health Care Scheduling Problem with Simultaneous Pick-up and Delivery with Time Window using a Tabu Search metaheuristic solution. *Applied Soft Computing*, *113*. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107957>
- Elshaer, R., & Awad, H. (2020). A taxonomic review of metaheuristic algorithms for solving the vehicle routing problem and its variants. *Computers and Industrial Engineering*, *140*. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106242>

- Farooque, M., Zhang, A., Thürer, M., Qu, T., & Huisingsh, D. (2019). Circular supply chain management: A definition and structured literature review. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 228, pp. 882–900). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.303>
- Geissdoerfer, M., Morioka, S. N., de Carvalho, M. M., & Evans, S. (2018). Business models and supply chains for the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 190, 712–721. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.159>
- Gu, W., Cattaruzza, D., Ogier, M., & Semet, F. (2019). Adaptive large neighborhood search for the commodity constrained split delivery VRP. *Computers and Operations Research*, 112. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2019.07.019>
- Gutiérrez-Sánchez, A., & Rocha-Medina, L. B. (2022). VRP variants applicable to collecting donations and similar problems: A taxonomic review. *Computers & Industrial Engineering*, 164, 107887. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107887>
- Heßler, K., & Irnich, S. (2021). A branch-and-cut algorithm for the soft-clustered vehicle-routing problem. *Discrete Applied Mathematics*, 288, 218–234. <https://doi.org/10.1016/j.dam.2020.08.017>
- Huerta, I. I., Neira, D. A., Ortega, D. A., Varas, V., Godoy, J., & Asín-Achá, R. (2022). Improving the state-of-the-art in the Traveling Salesman Problem: An Anytime Automatic Algorithm Selection. *Expert Systems with Applications*, 187. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115948>
- İLHAN, İ. (2021). An improved simulated annealing algorithm with crossover operator for capacitated vehicle routing problem. *Swarm and Evolutionary Computation*, 64. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2021.100911>
- Islam, D. M. Z., Fabian Meier, J., Aditjandra, P. T., Zunder, T. H., & Pace, G. (2013). Logistics and supply chain management. *Research in Transportation Economics*, 41(1), 3–16. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2012.10.006>
- Kanna, S. K. R., Sivakumar, K., & Lingaraj, N. (2021). Development of Deer Hunting linked Earthworm Optimization Algorithm for solving large scale Traveling Salesman Problem. *Knowledge-Based Systems*, 227. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2021.107199>
- Karak, A., & Abdelghany, K. (2019). The hybrid vehicle-drone routing problem for pick-up and delivery services. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 102, 427–449. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.03.021>
- Krishna, M. M., Panda, N., & Majhi, S. K. (2021). Solving traveling salesman problem using hybridization of rider optimization and spotted hyena optimization algorithm. *Expert Systems with Applications*, 183. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115353>

- Küçüközlü, I., & Öztürk, N. (2015). An advanced hybrid meta-heuristic algorithm for the vehicle routing problem with backhauls and time windows. *Computers and Industrial Engineering*, *86*, 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.10.014>
- Kuo, R. J., Lu, S.-H., Lai, P.-Y., & Mara, S. T. W. (2022). Vehicle routing problem with drones considering time windows. *Expert Systems with Applications*, *191*, 116264. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116264>
- Lambert, D. M., & Cooper, M. C. (2000). Issues in Supply Chain Management. In *Industrial Marketing Management* (Vol. 29). <http://www.CLM1.org>.
- Laporte, G., Gendreau, M., Potvin, J.-Y., & Semet, F. (2006). Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem. *International Transactions in Operational Research*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1475-3995.2000.tb00200.x>
- Laporte, G., Toth, P., & Vigo, D. (2013). Vehicle routing: historical perspective and recent contributions. In *EURO Journal on Transportation and Logistics* (Vol. 2, Issues 1–2). Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/s13676-013-0020-6>
- Mahmoudi, M., & Zhou, X. (2016). Finding optimal solutions for vehicle routing problem with pickup and delivery services with time windows: A dynamic programming approach based on state-space-time network representations. *Transportation Research Part B: Methodological*, *89*, 19–42. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2016.03.009>
- Marinelli, M., Colovic, A., & Dell’Orco, M. (2018). A novel Dynamic programming approach for Two-Echelon Capacitated Vehicle Routing Problem in City Logistics with Environmental considerations. *Transportation Research Procedia*, *30*, 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.09.017>
- Mastos, T. D., Nizamis, A., Terzi, S., Gkortzis, D., Papadopoulos, A., Tsagkalidis, N., Ioannidis, D., Votis, K., & Tzovaras, D. (2021). Introducing an application of an industry 4.0 solution for circular supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, *300*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126886>
- Meliani, Y., Hani, Y., Elhaq, S. L., & el Mhamedi, A. (2019). A developed Tabu Search algorithm for heterogeneous fleet vehicle routing problem. *IFAC-PapersOnLine*, *52*(13), 1051–1056. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.334>
- Montoya-Torres, J. R., López Franco, J., Nieto Isaza, S., Felizzola Jiménez, H., & Herazo-Padilla, N. (2015). A literature review on the vehicle routing problem with multiple depots. In *Computers and Industrial Engineering* (Vol. 79, pp. 115–129). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.10.029>
- Qi, M., Lin, W. H., Li, N., & Miao, L. (2012). A spatiotemporal partitioning approach for large-scale vehicle routing problems with time windows. *Transportation Research*

- Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(1), 248–257.  
<https://doi.org/10.1016/j.tre.2011.07.001>
- Sabar, N. R., Bhaskar, A., Chung, E., Turkey, A., & Song, A. (2019). A self-adaptive evolutionary algorithm for dynamic vehicle routing problems with traffic congestion. *Swarm and Evolutionary Computation*, 44, 1018–1027.  
<https://doi.org/10.1016/j.swevo.2018.10.015>
- Sundarakani, B., Ajaykumar, A., & Gunasekaran, A. (2021). Big data driven supply chain design and applications for blockchain: An action research using case study approach. *Omega (United Kingdom)*, 102.  
<https://doi.org/10.1016/j.omega.2021.102452>
- Theurich, F., Fischer, A., & Scheithauer, G. (2021). A branch-and-bound approach for a Vehicle Routing Problem with Customer Costs. *EURO Journal on Computational Optimization*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.ejco.2020.100003>
- Toscani, L. v., & Veloso, P. A. S. (2001). *Complexidade de Algoritmos*. Editora Sagra Luzzato.
- Tuntitippawan, N., & Asawarungsaengkul, K. (2016). An artificial bee colony algorithm with local search for vehicle routing problem with backhauls and time windows. *KKU Engineering Journal*, 43, 404–408.
- Zachariadis, E. E., Tarantilis, C. D., & Kiranoudis, C. T. (2009). A hybrid metaheuristic algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up service. *Expert Systems with Applications*, 36(2 PART 1), 1070–1081.  
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.11.005>
- Zajkani, M. A., Baghdorani, R. R., & Haeri, M. (2021). Model predictive based approach to solve DVRP with traffic congestion. *IFAC-PapersOnLine*, 54(21), 163–167.  
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.12.028>
- Zarpellon, G., Jo, J., Lodi, A., Bengio, Y., & Montréal, P. (2021). *Parameterizing Branch-and-Bound Search Trees to Learn Branching Policies*. [www.aaai.org](http://www.aaai.org)





# ANEXOS

6.1 Anexo A

6.2 Anexo B

6.3 Anexo C

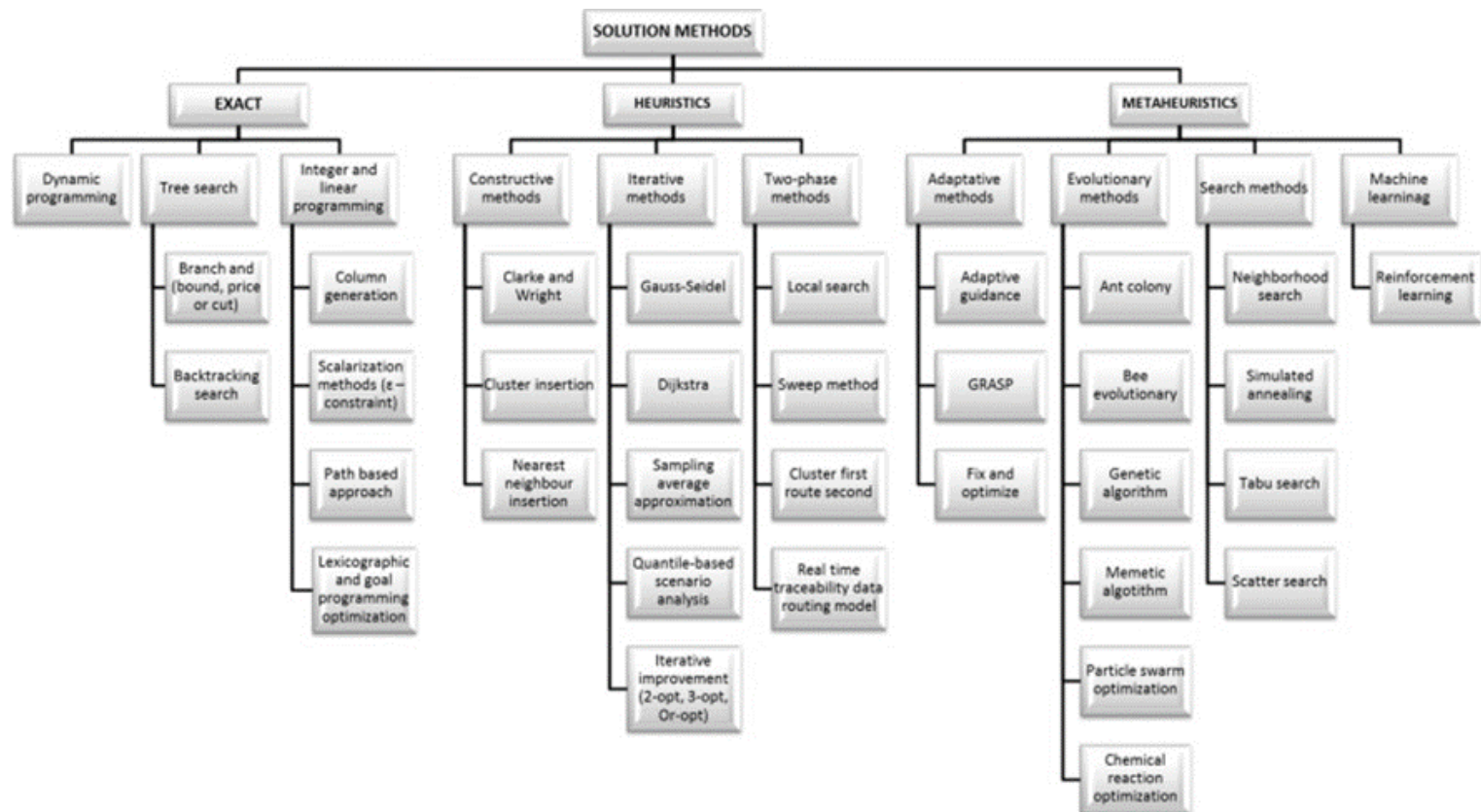


## 6 ANEXOS

### 6.1 Anexo A

Diferenciação dos diferentes métodos de resolução de VRP (Adaptado de Gutiérrez-Sánchez & Rocha-Medina, 2022).





## 6.2 Anexo B

Caixas utilizadas.

Código	D32222 NOVA	D32129	D32005	D32000	D90010	D32004
Caixa						
Dimensões (cm)	60x40x4	60x40x8	60x40x12	29x21x14	60x40x9,5	60x40x24
Caixas para permanecer	✓	✓	✓	✗	✗	✗

### 6.3 Anexo C

No presente Anexo, são encontradas as matrizes de tempo e distância utilizadas para todas as rotas presentes neste trabalho.

Relativamente à matriz de tempo, esta foi obtida considerando uma velocidade média de 90 km/h.

## Matriz de Tempo

id	PNF	PDL	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	X	Z
PNF	0,00000	0,03095	0,41542	0,43597	0,53147	0,47718	0,51178	0,42307	0,47028	0,53537	0,45676	0,44944	0,48085	0,45759	0,53572	0,56507	0,47224	0,39046	0,50354	0,45785	0,62214	0,42961	0,40464	0,50998	0,45719
PDL	0,03095	0,00000	0,40053	0,42478	0,52930	0,46292	0,49491	0,40887	0,45855	0,53347	0,43865	0,43202	0,47115	0,45303	0,53405	0,55639	0,46175	0,37666	0,49699	0,44653	0,61592	0,43758	0,41398	0,49756	0,44593
A	0,41542	0,40053	0,00000	0,05958	0,23320	0,06293	0,10119	0,01309	0,07486	0,23948	0,06583	0,05214	0,10534	0,15847	0,24258	0,18454	0,09000	0,02909	0,15900	0,07025	0,25866	0,31318	0,32066	0,10398	0,07048
B	0,43597	0,42478	0,05958	0,00000	0,17362	0,06295	0,12042	0,04737	0,03509	0,17990	0,11281	0,09940	0,05113	0,10069	0,18300	0,13693	0,03818	0,05991	0,10049	0,02192	0,20738	0,26697	0,27846	0,07608	0,02123
C	0,53147	0,52930	0,23320	0,17362	0,00000	0,21046	0,25903	0,22082	0,16993	0,00629	0,27841	0,26666	0,13526	0,08418	0,00974	0,11974	0,15003	0,22837	0,07920	0,16712	0,11615	0,18473	0,21194	0,17724	0,16650
D	0,47718	0,46292	0,06293	0,06295	0,21046	0,00000	0,05791	0,05411	0,04232	0,21662	0,07049	0,06145	0,07562	0,15243	0,22020	0,13442	0,06215	0,08683	0,13130	0,05114	0,21000	0,32721	0,34017	0,04652	0,05217
E	0,51178	0,49491	0,10119	0,12042	0,25903	0,05791	0,00000	0,09855	0,09842	0,26496	0,06021	0,06343	0,12836	0,20840	0,26870	0,16431	0,11706	0,12993	0,18050	0,10872	0,23685	0,38491	0,39808	0,08210	0,10978
F	0,42307	0,40887	0,01309	0,04737	0,22082	0,05411	0,09855	0,00000	0,06195	0,22710	0,07126	0,05732	0,09227	0,14727	0,23024	0,17178	0,07691	0,03296	0,14614	0,05717	0,24572	0,30572	0,31427	0,09257	0,05741
G	0,47028	0,45855	0,07486	0,03509	0,16993	0,04232	0,09842	0,06195	0,00000	0,17616	0,10852	0,09711	0,03477	0,11030	0,17964	0,10994	0,02009	0,08658	0,09134	0,01385	0,18380	0,28694	0,30122	0,04103	0,01483
H	0,53537	0,53347	0,23948	0,17990	0,00629	0,21662	0,26496	0,22710	0,17616	0,00000	0,28465	0,27292	0,14147	0,08990	0,00385	0,12402	0,15627	0,23456	0,08534	0,17340	0,11680	0,18376	0,21143	0,18311	0,17278
I	0,45676	0,43865	0,06583	0,11281	0,27841	0,07049	0,06021	0,07126	0,10852	0,28465	0,00000	0,01394	0,14328	0,21277	0,28811	0,20350	0,12839	0,09305	0,19981	0,11223	0,27885	0,37681	0,38551	0,11495	0,11300
J	0,44944	0,43202	0,05214	0,09940	0,26666	0,06145	0,06343	0,05732	0,09711	0,27292	0,01394	0,00000	0,13186	0,19966	0,27633	0,19572	0,11672	0,07985	0,18842	0,09989	0,27127	0,36290	0,37157	0,10732	0,10061
K	0,48085	0,47115	0,10534	0,05113	0,13526	0,07562	0,12836	0,09227	0,03477	0,14147	0,14328	0,13186	0,00000	0,08164	0,14498	0,08657	0,01558	0,11079	0,05657	0,03510	0,15627	0,26200	0,27871	0,05360	0,03487
L	0,45759	0,45303	0,15847	0,10069	0,08418	0,15243	0,20840	0,14727	0,11030	0,08990	0,21277	0,19966	0,08164	0,00000	0,09203	0,12574	0,09136	0,14869	0,05464	0,10214	0,16626	0,18099	0,19934	0,13484	0,10121
M	0,53572	0,53405	0,24258	0,18300	0,00974	0,22020	0,26870	0,23024	0,17964	0,00385	0,28811	0,27633	0,14498	0,09203	0,00000	0,12778	0,15973	0,23735	0,08894	0,17674	0,11936	0,18124	0,20912	0,18686	0,17611
N	0,56507	0,55639	0,18454	0,13693	0,11974	0,13442	0,16431	0,17178	0,10994	0,12402	0,20350	0,19572	0,08657	0,12574	0,12778	0,00000	0,09884	0,19527	0,07110	0,11759	0,07559	0,29327	0,31652	0,08856	0,11779
O	0,47224	0,46175	0,09000	0,03818	0,15003	0,06215	0,11706	0,07691	0,02009	0,15627	0,12839	0,11672	0,01558	0,09136	0,15973	0,09884	0,00000	0,09680	0,07180	0,01981	0,17033	0,26980	0,28516	0,04899	0,01971
P	0,39046	0,37666	0,02909	0,05991	0,22837	0,08683	0,12993	0,03296	0,08658	0,23456	0,09305	0,07985	0,11079	0,14869	0,23735	0,19527	0,09680	0,00000	0,15920	0,07768	0,26700	0,29184	0,29746	0,12219	0,07750
Q	0,50354	0,49699	0,15900	0,10049	0,07920	0,13130	0,18050	0,14614	0,09134	0,08534	0,19981	0,18842	0,05657	0,05464	0,08894	0,07110	0,07180	0,15920	0,00000	0,09010	0,11897	0,22783	0,24905	0,09947	0,08961
R	0,45785	0,44653	0,07025	0,02192	0,16712	0,05114	0,10872	0,05717	0,01385	0,17340	0,11223	0,09989	0,03510	0,10214	0,17674	0,11759	0,01981	0,07768	0,09010	0,00000	0,18988	0,27619	0,28967	0,05471	0,00108
S	0,62214	0,61592	0,25866	0,20738	0,11615	0,21000	0,23685	0,24572	0,18380	0,11680	0,27885	0,27127	0,15627	0,16626	0,11936	0,07559	0,17033	0,26700	0,11897	0,18988	0,00000	0,30056	0,32808	0,16402	0,18992
T	0,42961	0,43758	0,31318	0,26697	0,18473	0,32721	0,38491	0,30572	0,28694	0,18376	0,37681	0,36290	0,26200	0,18099	0,18124	0,29327	0,26980	0,29184	0,22783	0,27619	0,30056	0,00000	0,03105	0,31554	0,27514
U	0,40464	0,41398	0,32066	0,27846	0,21194	0,34017	0,39808	0,31427	0,30122	0,21143	0,38551	0,37157	0,27871	0,19934	0,20912	0,31652	0,28516	0,29746	0,24905	0,28967	0,32808	0,03105	0,00000	0,33227	0,28860
X	0,50998	0,49756	0,10398	0,07608	0,17724	0,04652	0,08210	0,09257	0,04103	0,18311	0,11495	0,10732	0,05360	0,13484	0,18686	0,08856	0,04899	0,12219	0,09947	0,05471	0,16402	0,31554	0,33227	0,00000	0,05562
Z	0,45719	0,44593	0,07048	0,02123	0,16650	0,05217	0,10978	0,05741	0,01483	0,17278	0,11300	0,10061	0,03487	0,10121	0,17611	0,11779	0,01971	0,07750	0,08961	0,00108	0,18992	0,27514	0,28860	0,05562	0,00000

## Matriz de Distâncias

id	PNF	PDL	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	X	Z
PNF	0,00	66,84	897,31	941,69	1147,98	1030,71	1105,45	913,84	1015,81	1156,39	986,61	970,79	1038,63	988,40	1157,15	1220,55	1020,03	843,39	1087,65	988,96	1343,82	927,96	874,03	1101,55	4657,32
PDL	66,84	0,00	865,14	917,53	1143,28	999,91	1069,00	883,16	990,48	1152,30	947,48	933,16	1017,69	978,54	1153,54	1201,79	997,37	813,59	1073,49	964,50	1330,39	945,18	894,20	1074,73	4723,37
A	897,31	865,14	0,00	128,70	503,72	135,92	218,58	28,26	161,69	517,28	142,18	112,62	227,54	342,29	523,97	398,62	194,39	62,82	343,44	151,74	558,70	676,47	692,62	224,59	5265,58
B	941,69	917,53	128,70	0,00	375,02	135,98	260,12	102,33	75,79	388,58	243,67	214,70	110,45	217,49	395,27	295,76	82,46	129,40	217,05	47,36	447,94	576,65	601,48	164,34	5206,03
C	1147,98	1143,28	503,72	375,02	0,00	454,60	559,50	476,97	367,05	13,59	601,37	575,98	292,16	181,83	21,03	258,64	324,06	493,28	171,08	360,98	250,88	399,02	457,80	382,83	5046,69
D	1030,71	999,91	135,92	135,98	454,60	0,00	125,09	116,88	91,41	467,90	152,26	132,74	163,33	329,24	475,63	290,34	134,24	187,55	283,61	110,46	453,60	706,78	734,77	100,48	5341,98
E	1105,45	1069,00	218,58	260,12	559,50	125,09	0,00	212,87	212,58	572,32	130,04	137,01	277,27	450,13	580,38	354,90	252,84	280,65	389,88	234,84	511,60	831,40	859,85	177,35	5464,82
F	913,84	883,16	28,26	102,33	476,97	116,88	212,87	0,00	133,82	490,55	153,91	123,80	199,30	318,10	497,32	371,05	166,13	71,20	315,65	123,49	530,76	660,36	678,81	199,95	5261,05
G	1015,81	990,48	161,69	75,79	367,05	91,41	212,58	133,82	0,00	380,51	234,40	209,77	75,11	238,25	388,02	237,46	43,40	187,00	197,29	29,92	397,02	619,79	650,63	88,63	5265,57
H	1156,39	1152,30	517,28	388,58	13,59	467,90	572,32	490,55	380,51	0,00	614,85	589,50	305,58	194,18	8,32	267,88	337,55	506,64	184,33	374,54	252,28	396,92	456,69	395,51	5040,50
I	986,61	947,48	142,18	243,67	601,37	152,26	130,04	153,91	234,40	614,85	0,00	30,11	309,48	459,57	622,32	439,57	277,31	200,99	431,58	242,43	602,32	813,91	832,70	248,30	5405,61
J	970,79	933,16	112,62	214,70	575,98	132,74	137,01	123,80	209,77	589,50	30,11	0,00	284,82	431,27	596,87	422,75	252,12	172,47	407,00	215,76	585,94	783,87	802,59	231,80	5377,26
K	1038,63	1017,69	227,54	110,45	292,16	163,33	277,27	199,30	75,11	305,58	309,48	284,82	0,00	176,34	313,16	187,00	33,65	239,30	122,18	75,82	337,54	565,93	602,01	115,78	5223,91
L	988,40	978,54	342,29	217,49	181,83	329,24	450,13	318,10	238,25	194,18	459,57	431,27	176,34	0,00	198,79	271,60	197,33	321,17	118,03	220,61	359,12	390,93	430,58	291,25	5054,32
M	1157,15	1153,54	523,97	395,27	21,03	475,63	580,38	497,32	388,02	8,32	622,32	596,87	313,16	198,79	0,00	276,01	345,01	512,68	192,11	381,77	257,81	391,47	451,70	403,63	5033,25
N	1220,55	1201,79	398,62	295,76	258,64	290,34	354,90	371,05	237,46	267,88	439,57	422,75	187,00	271,60	276,01	0,00	213,49	421,78	153,58	253,99	163,27	633,47	683,68	191,30	5297,34
O	1020,03	997,37	194,39	82,46	324,06	134,24	252,84	166,13	43,40	337,55	277,31	252,12	33,65	197,33	345,01	213,49	0,00	209,09	155,09	42,78	367,91	582,77	615,94	105,82	5234,80
P	843,39	813,59	62,82	129,40	493,28	187,55	280,65	71,20	187,00	506,64	200,99	172,47	239,30	321,17	512,68	421,78	209,09	0,00	343,87	167,79	576,72	630,37	642,51	263,93	5204,80
Q	1087,65	1073,49	343,44	217,05	171,08	283,61	389,88	315,65	197,29	184,33	431,58	407,00	122,18	118,03	192,11	153,58	155,09	343,87	0,00	194,61	256,97	492,11	537,95	214,86	5159,14
R	988,96	964,50	151,74	47,36	360,98	110,46	234,84	123,49	29,92	374,54	242,43	215,76	75,82	220,61	381,77	253,99	42,78	167,79	194,61	0,00	410,14	596,57	625,69	118,18	5238,21
S	1343,82	1330,39	558,70	447,94	250,88	453,60	511,60	530,76	397,02	252,28	602,32	585,94	337,54	359,12	257,81	163,27	367,91	576,72	256,97	410,14	0,00	649,20	708,64	354,29	5278,68
T	927,96	945,18	676,47	576,65	399,02	706,78	831,40	660,36	619,79	396,92	813,91	783,87	565,93	390,93	391,47	633,47	582,77	630,37	492,11	596,57	649,20	0,00	67,06	681,56	4667,03
U	874,03	894,20	692,62	601,48	457,80	734,77	859,85	678,81	650,63	456,69	832,70	802,59	602,01	430,58	451,70	683,68	615,94	642,51	537,95	625,69	708,64	67,06	0,00	717,71	4623,73
X	1101,55	1074,73	224,59	164,34	382,83	100,48	177,35	199,95	88,63	395,51	248,30	231,80	115,78	291,25	403,63	191,30	105,82	263,93	214,86	118,18	354,29	681,56	717,71	0,00	5338,93
Z	4657,32	4723,37	5265,58	5206,03	5046,69	5341,98	5464,82	5261,05	5265,57	5040,50	5405,61	5377,26	5223,91	5054,32	5033,25	5297,34	5234,80	5204,80	5159,14	5238,21	5278,68	4667,03	4623,73	5338,93	0,00