

Universidades Lusíada

Ribeiro, António Manuel Lima

Gestão de transportes : otimização de transportes numa rede europeia

<http://hdl.handle.net/11067/5976>

Metadados

Data de Publicação

2020

Resumo

No cenário atual de globalização, a gestão de uma rede de transportes eficaz e eficiente na movimentação de mercadorias, torna-se um fator de extrema importância, quer pelo foco em colocar o artigo no local certo, no tempo e momento certo e sem qualquer quebra ou dano, quer pelo custo que imputa à cadeia de abastecimento. Este estudo visa explorar a aplicabilidade de heurísticas de definição de rotas, tendo para isso em conta o tipo de cargas a transportar, as distâncias entre pontos de recolha...

In the current globalization scenario, the management of an effective and efficient transport network in the movement of goods, becomes an extremely important factor, either by the focus on placing the article in the right place, at the right time and time and without any break or damage, or by the cost it charges to the supply chain. This study aims to explore the applicability of route definition heuristics, considering the type of cargo to be transported, such as distances between collection...

Palavras Chave

Gestão industrial, Transportes, Otimização, Custos

Tipo

masterThesis

Revisão de Pares

no

Coleções

[ULF-FET] Dissertações

Esta página foi gerada automaticamente em 2024-04-25T19:51:43Z com informação proveniente do Repositório



UNIVERSIDADE LUSÍADA – NORTE
Campus de VILA NOVA DE FAMALICÃO

GESTÃO DE TRANSPORTES
Otimização de Transportes Numa Rede Europeia

António Manuel Lima Ribeiro

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

VILA NOVA DE FAMALICÃO - 2020



UNIVERSIDADE LUSÍADA – NORTE
Campus de VILA NOVA DE FAMALICÃO

GESTÃO DE TRANSPORTES
Otimização de Transportes Numa Rede Europeia

António Manuel Lima Ribeiro

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

Orientador: Professor Doutor Rui Silva

VILA NOVA DE FAMALICÃO - 2020

Agradecimentos

Este último trabalho do Mestrado, representa o culminar de um longo caminho, percorrido com momentos bons e momentos menos bons, e também o atingir de um objetivo de muitos anos. Obviamente, que para além do esforço pessoal, este tem o contributo de pessoas que, nos diferentes momentos, ajudaram e motivaram para manter o foco no termino desta caminhada

Quero agradecer ao corpo docente da Universidade Lusíada – Norte, Campus de Vila Nova de Famalicão, pela transmissão do conhecimento, pela disponibilidade com que estiveram para nos ajudar e pela marca pessoal de rigor e saber que um ou outro deixou.

Aos amigos e colegas de estudo, pelas horas que passamos juntos, num estudo sempre descontraído e cheio de boa disposição, mas ao mesmo tempo com a tensão natural que o momento exigia e pela motivação que sempre transmitimos uns aos outros, para que este momento fosse possível. A todos vós, vos tenho como amigos e pretendo que assim continue.

À família no seu todo, o meu agradecimento por sempre apoiarem e ajudarem com palavras de incentivo, mesmo quando a fase foi menos boa.

A ti, que nesta nova fase da minha vida, me deste um novo alento, o impulso, ânimo e motivação para finalizar mais este capítulo académico.

Finalmente, à minha filha, pela paciência que tiveste com o pai, pela ausência que este trajeto impôs, pelos momentos que poderiam ter sido de pai e filha e não o foram. E, claro está, pelo teu apoio incondicional e orgulho que demonstras no teu olhar. Obrigado filha.

Resumo

No cenário atual de globalização, a gestão de uma rede de transportes eficaz e eficiente na movimentação de mercadorias, torna-se um fator de extrema importância, quer pelo foco em colocar o artigo no local certo, no tempo e momento certo e sem qualquer quebra ou dano, quer pelo custo que imputa à cadeia de abastecimento.

Este estudo visa explorar a aplicabilidade de heurísticas de definição de rotas, tendo para isso em conta o tipo de cargas a transportar, as distâncias entre pontos de recolha e o custo do transporte e distribuição, nos domínios da definição de rotas eficientes e redução de custos. Após a análise mais profunda do problema, utilizou-se, por forma comparativa, as heurísticas mais adequadas, que passam por: problema do Caminho mais curto; Caixeiro Viajante; VRP (*vehicle Routing Problem*) - heurística de *Clarke & Wright*.

O trabalho é composto por duas partes. A primeira consiste na revisão bibliográfica, onde são abordados os temas relacionados com transportes, onde se destaca a importância desta atividade, os modos existentes e suas características, bem como, o que se deve ter em conta para a escolha de um modo ou sistema de transporte. Finalmente, aborda o planeamento de rotas e quais as heurísticas mais utilizadas para a definição de uma rede de transporte. A bibliografia deste trabalho assenta em artigos científicos, consultas de trabalhos académicos, bem como de obras de renome na área da gestão da cadeia de abastecimentos, onde se verifica a similitude do objetivo da eficácia e eficiência do processo, mas também uma complementaridade delas quando compiladas num só documento.

Na segunda parte, as heurísticas detalhadas são aplicadas no caso de estudo em consideração. O caso de estudo foi realizado com base num problema de transporte real, de uma empresa da indústria automóvel, sediada na região do Minho, que necessita minimizar os custos com transporte, nomeadamente dos fornecedores sediados no norte da Europa.

No Caso de Estudo, foram aplicados dois métodos, o Problema do Caixeiro Viajante com a utilização da heurística do Vizinho mais Próximo, e o VRP (*Vehicle Routing Problem*) - heurística *Clarke & Wright*. Nos resultados obtidos, verifica-se a existências de uma otimização com a minimização, quer na rota com um menor número de quilómetros percorridos, quer nos custos totais da operação. Esta otimização é passível de ser melhorada tendo em conta que as heurísticas não são exatas e estão sempre dependentes de variáveis que evoluem com o tempo.

Palavras chave: Planeamento de Rotas, Otimização das Rotas, Vizinho Mais Proximo, *Clarke & Wright*, Minimização de Custos.

Abstract

In the current globalization scenario, the management of an effective and efficient transport network in the movement of goods, becomes an extremely important factor, either by the focus on placing the article in the right place, at the right time and time and without any break or damage, or by the cost it charges to the supply chain.

This study aims to explore the applicability of route definition heuristics, considering the type of cargo to be transported, such as distances between collection points and the cost of transportation and distribution in the fields of efficient routing and cost reduction. After a deeper analysis of the problem, were used for comparative purposes the most appropriate heuristics, which include: Shortest Path problem; Traveling Salesman; VRP (Vehicle Routing Problem) - Clarke & Wright's heuristic.

The work consists of two parts. The first consists of a bibliographic review, where the topics related to transport are approached, highlighting the importance of this activity, the existing modes and their characteristics, as well as, what should be taken into account when choosing a mode or system of transport. Finally, it addresses route planning and which heuristics are most used in transport definition network. The bibliography of this work is based on scientific articles, academic work consultations, as well as renowned works in the area of supply chain management, where there is a similarity between the objective of the process effectiveness and efficiency, but also a complementarity of them when compiled in one document.

In the second part, detailed heuristics are applied to the case study under consideration. The case study was carried out based on a real transportation problem, from a company in the automotive industry, based in the Minho region, which needs to minimize transportation costs, namely from suppliers based in northern Europe.

In the Case Study, two methods were applied, the Traveling Salesman Problem with the use of the Nearest Neighbor heuristic, and the VRP (Vehicle Routing Problem) - Clarke & Wright heuristic. The results obtained show the existence of optimization with minimization, either by on the route with the least number of kilometers traveled or on the total costs of the operation. This optimization can be improved considering that the heuristics are not exact and are always dependent on variables that evolve over time.

Keywords: Route Planning, Route Optimization, Nearest Neighbor, Clarke & Wright, Cost Minimization.

Índice

Agradecimentos	I
Resumo.....	II
Abstract	IV
Índice de Figuras.....	VII
Índice de Tabelas	VIII
Lista de Abreviaturas	IX
Introdução	1
1. Transportes.....	2
1.1. Importância dos Transportes	3
1.2. Modos de Transporte	4
1.3. Modais	4
1.3.1. Multimodalidade e Intermodalidade	9
1.3.2. Características dos modos de Transporte	12
1.3.3. Escolha do Modo de Transporte	16
1.3.4. Incoterms	17
2. Planeamento de Rotas e Redes.....	19
2.1. Abordagens e Heurísticas	20
2.1.1. Problema Caminho mais curto	22
2.1.2. Problema Caixeiro Viajante (<i>Traveling salesman problem</i>)	24
2.1.3. Problema de Transportes (Canto NW - <i>Milk Run</i>)	25
2.1.4. VRP (<i>Vehicle Routing Problem</i>) - Heurística <i>Clarke & Wright</i>.....	27
3. Caso de Estudo	30
3.1. Apresentação da Estrutura da Organização.....	31
3.2. Estado Inicial	32
3.3. Aplicação das Heurísticas e Algoritmos	35
3.3.1. Problema Caixeiro Viajante (<i>Traveling salesman problem</i>).....	36
3.3.2. VRP (<i>Vehicle Routing Problem</i>) - Heurística <i>Clarke & Wright</i>.....	38
Bibliografia	43
ANEXOS	47

Índice de Figuras

Figura 1 – Modos de Transporte	4
Figura 2 - Rota não Otimizada	20
Figura 3 – Rede Otimizada.....	20
Figura 4 – Rede inicial para calculo do Problema do Caminho mais curto	23
Figura 5 – Problema do Caixeiro Viajante.....	24
Figura 6 – Rota simples do Problema do Caixeiro Viajante	25
Figura 7 – Rede com Multiplos pontos de Origem e de Destino	26
Figura 8 – Problema de Transpores – Milk Run	27
Figura 9 – Representação de VRP, ou Problema de Rotas	28
Figura 10 – Representação gráfica método Clark & Wright.....	29
Figura 11 – Algumas localizações globais de unidades de Engenharia e Produtivas do grupo	31
Figura 12 – Distribuição geográfica dos fornecedores, operador germânico e da Empresa X	33
Figura 13 – Grafo com distâncias das localizações.....	33
Figura 14 – Mapa da distribuição geográfica dos fornecedores e da Empresa X	35
Figura 15 – Grafo com distâncias das localizações, fornecedores e Empresa X	35
Figura 16 – Evolução da construção da rota em função da maior proximidade do nodo seguinte ..	37
Figura 17 – Grafo com a rota obtida, heurística Vizinho Mais Próximo	38
Figura 18 – Ligação dos pares segunda Lista de Poupanças.....	40
Figura 19 - Grafo com a rota obtida, heurística Clarke & Wright	40

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Peso do custo por modos Transporte (Ton.-Mile).....	13
Tabela 2 – Custo, Média de Tempo Transito, Variabilidade e Perdas e Quebras por modal.....	14
Tabela 3 - Flexibilidade, Capacidade e Frequência por modal	15
Tabela 4 – Modelo Multicritério Aditivo na escolha do modo de transporte	16
Tabela 5 – Matriz Dimensão da Carga VS Distância a percorrer para escolha do modo transporte	17
Tabela 6 – Problema de Transpores – aplicação do método Canto NW	26
Tabela 7 – Custos Problema de Transpores – aplicação do método Canto NW	26
Tabela 8 – Tabela de distâncias entre os pontos, realçando as distâncias para a construção da rota	34
Tabela 9 – Obtenção do custo por Quilómetro.....	34
Tabela 10 – Tabela de distâncias entre as localizações da origem (J) e os fornecedores.....	36
Tabela 11 – Tabela de distâncias entre as localizações já com a pontos (nodos) selecionados	38
Tabela 12 – Tabela das Poupanças.....	39
Tabela 13 – Lista das Poupanças ordenadas por ordem decrescente	40

Lista de Abreviaturas

C&F - (*Cost and Freight*),

CA - *Cadeia de Abastecimento*

CIF – *Cost, Insurance and Freight*

COFC - *Container-on-Flatcar*

DAF - *Delivered at Frontier*

DAP - *Delivered at Place*

DAT - *Delivered at Terminal*

DCP - *Delivered Cost Pagid*

DDP - *Delivered Duty Paid*

DDU - *Delivered Duty Unpaid*)

DEQ - *Delivered Ex Quay*

DES - *Delivered Ex Ship*

DPU - *Delivered at Place Unloaded*

FAS – *Free Alonside Ship*

FCA - *Free Carrier*

FOB - *Free on Board*

FOR - *Free on Rail*

FOT - *Free on Truck*

GRASP - *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*

ICC - *International Chamber of Commerce*

JIT - *Just-In-Time*

RORO - *Roll on Roll Off*

TOFC - *Trailer On a Flatcar*

VRP - *Vehicle Routing Problem*

WIP – *Work in Process*

Introdução

Desde sempre o Homem teve necessidade de deslocar-se, no entanto o transporte como atividade essencial para o movimento de mercadorias surge com as primeiras trocas comerciais. Tem vindo a ganhar cada vez mais importância, principalmente, quando os mercados se abriram para o comércio global.

A indústria adota novas formas e métodos de tornar ágeis os processos produtivos, nomeadamente a indústria automóvel, sendo inclusive a pioneira em alguns desses métodos, como é o caso do abastecimento JIT (*Just-In-Time*) entre outras, os quais têm vindo a ser igualmente adotadas por outros ramos industriais. Este novo cenário faz com que o mercado se abra a fornecedores mais distantes, situados em mercados mais competitivos, mesmo noutros continentes e empurra o setor dos transportes para um novo paradigma, ou seja, para a movimentação de mercadorias ágil e flexível, colocando o material certo, no local certo e no momento certo.

Tal paradigma, traz para o setor dos transportes necessidade de encontrar formas de definir trajetos e rotas mais curtas, obedecendo a restrições, quer legais, quer derivadas dos próprios modos e meios de transportes selecionados, do tipo de mercadoria, das condições de carga, etc. É aí que se enquadram os métodos de planeamento de rotas, que podem definir o melhor, e o mais rentável, quer num problema de obtenção de um trajeto do ponto A ao ponto X, ou tendo o ponto A como partida e chegada, entre outros tipos de definições.

Neste trabalho, far-se-á um enquadramento teórico com a revisão da bibliografia e a resolução do caso de estudo utilizando duas heurísticas, com o objetivo de comprovar a melhoria de resultados.

1. Transportes

Com o aparecimento das primeiras trocas comerciais, surge inevitavelmente o transporte como atividade necessária para movimentar mercadorias. Para Grazia Speranza (2018) a atividade de transporte consiste na movimentação de cargas, desde os produtores até ao consumidor final, sejam elas matérias-primas ou produtos acabados, sendo igualmente reconhecida como uma área de extrema importância no desempenho de uma Cadeia de Abastecimento.

Dessa forma, esta importante atividade logística cria as dimensões de utilidade de lugar, pelo movimento entre dois pontos, e de tempo, pela rapidez da própria movimentação, visando a satisfação do cliente (Lambert, 2007). O transporte é fundamental para que o principal objetivo da logística seja atingido: produto certo, na quantidade certa, na hora certa e no lugar certo, ao menor custo possível. Apresenta como principais funções, a movimentação e a reposição de stocks (Blwersox & Closs, 2001).

O responsável por esta área logística precisa ter um bom entendimento sobre as questões do transporte, uma vez que esta atividade logística ocupa um papel fundamental na economia das empresas, devido à fatia que ocupa nos seus custos logísticos, sendo que representa cerca de um a dois terços dos custos totais (Ballau, 2008).

Dessa forma, e sendo uma atividade chave, a sua evolução deve-se à contribuição de diversos fatores, tal como o facto das Cadeias de Abastecimento (CA) se tornarem cada vez mais longas e complexas. A crescente utilização da intermodalidade e multimodalidade e variedade de serviços, bem como pelo surgimento de transportes com soluções mais sustentáveis, traduz-se no aumento da sua eficiência (Retto Uhlmann, *et al.* 2017). Além disso, a melhoria na gestão de tráfego, de frotas e infraestruturas, devido à evolução dos sistemas de informação, impulsiona de forma significativa a intermodalidade e promove uma maior eficácia dos sistemas de transporte. Os estudos realizados na área de desenvolvimento de novos modelos e algoritmos e do planeamento de rotas e escalas para resolução de problemas complexos e de grande dimensão.

O Gestor de transportes de qualquer organização, ao exercer as suas funções de gerir a sua Cadeia de Abastecimento, irá deparar-se com diversos problemas (Chopra & Meindl, 2007), como a escolha do modo de transporte que melhor se adequa à mercadoria a transportar e a definição de uma rede de transportes. Encontrará um problema de integrar

com os transportes os próprios inventários, bem como optar pela subcontratação, exploração própria ou solução mista. Por fim, terá de medir o desempenho de todo o sistema de transportes.

1.1. Importância dos Transportes

A atividade económica dos países, é mais alta ou baixa, dependendo do grau de desenvolvimento de cada país. Os países desenvolvidos têm toda a economia mais favorável com o aparecimento de serviços de transporte rapidamente disponíveis e baratos, que cria um sistema de transporte barato e eficiente, contribuindo assim para maiores economias de escala na produção e conseqüentemente, produtos a preços baixos e maior concorrência no mercado (Ballau, 2008).

Kherbash & Mocan (2015) referem que, os serviços de transportes baratos influenciam, quer os preços mais baixos dos produtos, uma vez que é parte integrante, juntamente com custos de produção, outros custos de distribuição e vendas, do custo agregado do próprio produto, ou nas economias de escala, através da dissociação de mercados e locais de produção. Ou seja, permite que as empresas possam selecionar os locais de produção, para localizações geograficamente vantajosas.

Segundo dados da União Europeia (2014), a Europa para impulsionar o comércio e o crescimento económico, bem como a criação de emprego, necessita de boas ligações de transportes. Essas redes têm uma extrema importância, uma vez que facilitam a circulação de pessoas e contribuem para uma eficiente distribuição dos bens, diminuindo distâncias e contribuem para o aumento da qualidade de vida dos cidadãos, ou seja, *“são essenciais para a cadeia de abastecimento e constituem a base da economia de qualquer país”*. Dessa forma, os transportes são um setor, em termos de exportações, essencial para a economia da EU e contribuiu, igualmente, para a prosperidade e emprego na EU, equivalendo a 4,5% do PIB, empregando cerca de 10 milhões de pessoas, representando 4,5% do emprego total.

No panorama nacional, o ISCTE *Junior Consulting* conclui no Relatório Global APAT 2019 que as empresas portuguesas do setor dos transportes estão a passar por uma situação favorável, sendo que exportam mais do que importam e que, 94% do volume de negócio total se divide entre Grande Lisboa e Norte.

A zona comunitária ocupa um papel de extrema importância para a vitalidade do setor, “tanto a nível de exportações (destino de 96,51% das empresas exportadoras), como a nível das importações (98,9% dos importadores recorrem a estados-membros)” (APAT/Notícia, 2019). O mesmo relatório refere ainda que o setor representa um valor significativo do PIB (Produto Interno Bruto) português, com 1,1%.

1.2. Modos de Transporte

Os modos de transporte, numa primeira instância, dividem-se em três grupos, Terrestre, Aquático e Aéreo. Estes dividem-se naqueles que são, para Boente *et al.* (2016) e Neves *et al.* (2018) os cinco modos básicos de Transporte, o rodoviário, o ferroviário, marítimo e fluvial, pipelines e aéreo (Figura 1).

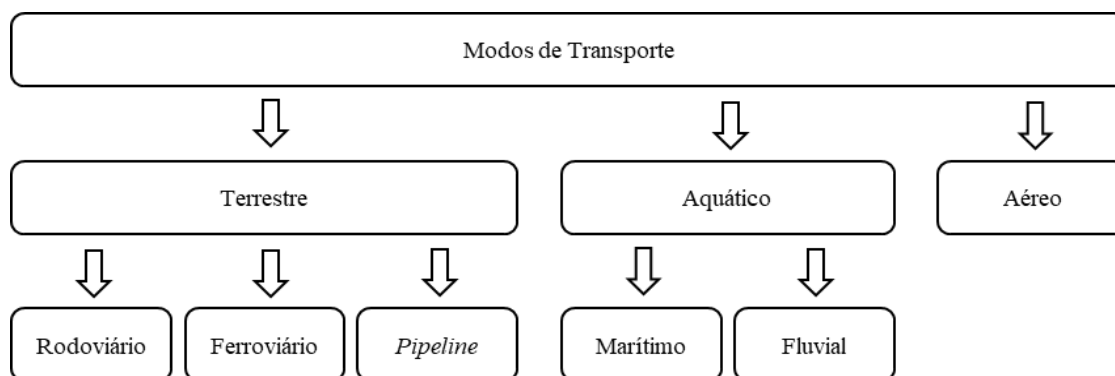


Figura 1 – Modos de Transporte

Na escolha mais adequada do meio de transporte a utilizar, o decisor deve classificar e balancear os fatores mais relevantes para a tomada de decisão, como sendo a identificação de fatores operacionais (velocidade, capacidade, consistência, frequência e disponibilidade), que permitem uma avaliação da qualidade do serviço, identificação das características dos modos de transporte, caracterização da entrega/encomenda e análise de *trade off* custo/serviço (Neves *et al.* 2018).

1.3. Modais

❖ Ferroviário

Este é um tipo de transporte que se caracteriza por permitir uma economia de escala e de distância, pela sua elevada capacidade de carga e por ser um modo de transporte eficiente, ou seja, transporte de matéria-prima pesada e volumosa (carvão, produtos químicos, entre

outros) a médias e longas distâncias (Leite *et al.* 2016). Apesar de tudo, é um modo de transporte que se revela pouco flexível, uma vez que necessita sempre de um outro modo de transporte para deslocar a mercadoria da origem até ao comboio e deste até ao ponto de destino. Para além disto, tem um custo elevado para transporte de mercadorias de pequeno volume e requer investimentos fixos avultados (Ferreira, 2012).

O modo ferroviário oferece, ao remetente, uma diversidade de serviços, como o movimento de produtos a granel, automóveis novos, que necessitam de equipamento especial. Além disso, oferece a garantia de um prazo de entrega (num número de horas) através de um serviço rápido, bem como, cargas e descargas (Seleme *et al.* 2012)

De forma resumida, as vantagens deste tipo de transporte são (Neves *et al.* 2018):

- Elevada capacidade de carga;
- Económico para transporte de mercadorias volumosas e pesadas em médias e longas distâncias;
- Pouco consumo energético e pouco poluente, muito pela eletrificação das linhas
- Não sujeito a congestionamentos da via.

Como desvantagens:

- Transbordo das mercadorias para outro modal, devido ao carácter fixo da via;
- Custos de manutenção e funcionamento e de exploração elevados;
- Em pequenas distâncias é um tipo de transporte pouco competitivo.

❖ Rodoviário

Em relação ao modo anterior, o rodoviário é um serviço mais utilizado para transporte de produtos acabados e semiacabados em distâncias curtas, sendo que o tamanho da carga movimentada por este modo é menor que no modo ferroviário. Além disso, uma das vantagens é ser um serviço porta-a-porta em que não existe necessidade de transbordo da mercadoria para outro modal (Leite *et al.* 2016).

A sua característica flexível permite movimentar mercadorias a várias distâncias, de tamanhos e pesos variados, oferece qualquer tipo combinação do ponto de origem até ao

ponto de destino. Como desvantagens apresenta um custo elevado em trajetos de longa distância e na sua menor capacidade de cargas (Bowersox & Closs, 2007).

Segundo Neves *et al.* (2018), as vantagens apresentadas por este meio de transporte, são:

- Flexibilidade de Itinerários e horários;
- Não necessita efetuar transbordo sendo a entrega efetuada porta-a-porta;
- Boa capacidade de carga;
- Utilizado para transportes de curtas e médias distâncias.

Como desvantagens:

- Congestionamento de tráfego;
- Consumo de combustíveis fósseis elevado;
- Contributo negativo elevado para a poluição atmosférica.

❖ Pipeline

Este tipo de transporte move as mercadorias através de ductos/tubos sendo a gama de recursos e serviços por si apresentados muito limitada. Os produtos que normalmente são transportados neste modo são o crude e seus derivados refinados e gases, onde se torna economicamente mais rentável. (Boente *et al.* 2016).

Para Ferreira (2012), é um modo que tem na sua disponibilidade, dada a ausência de interrupções na sua operação, e a falta de necessidade de se gerir a viagem de retorno em vazio as suas principais vantagens. Contrapondo com as desvantagens de apresentar um elevado custo fixo, onde se engloba a construção, bem como na sua pouca flexibilidade, limitada ao transporte de produtos, líquidos, gasosos ou de uma mistura semifluida.

Porém, e apesar da movimentação poder ser lenta, o facto de este poder operar 24 horas por dia, 7 dias por semana, permite disfarçar a sua lentidão tornando-se, dessa forma, um modal mais rápido comparativamente com os outros. Além disso, há que ter em conta que a quantidade de produtos transportado é elevado (Ballau 2008).

Este meio apresenta as seguintes vantagens (Neves *et al.* 2018):

- Rapidez;
- Vida útil longa;
- Pouco afetado pelas mudanças climáticas;
- Custo baixo com manutenção e mão de obra.

Como desvantagem apresenta:

- Custos de Investimento inicial muito altos;
- Rigidez da rede;
- Transporte limitado a uma pequena diversidade de produtos.

❖ Aquático

Este modo de transporte caracteriza-se pela movimentação de produtos realizado por via aquática, podendo ser por via marítima ou fluvial.

Esta é a modalidade mais utilizada no transporte internacional. Economicamente, este modal é a alternativa mais forte, uma vez que permite o transporte mercadorias de grande volume e peso e produtos a granel, como carvão, cereais, etc., em longas e médias distâncias e em que o tempo de trânsito não se revele um fator negativo (Chopra & Meindl, 2007).

O tempo de transporte, que está relacionado com a velocidade lenta deste modal, revela-se um problema quanto à flexibilidade deste tipo de transporte. Provoca, relativamente aos inventários o risco e incerteza, visto que o tempo de trânsito mais elevado, reduz a possibilidade de fazer face a variações da procura que possam ocorrer. Além disso, o tempo de percurso pode ainda ser penalizado pela imprevisibilidade das condições climáticas, bem como, pelas operações de transbordo (Rushton, Croucher & Baker, 2006).

Relativamente aos custos com perdas e danos de mercadoria, nos produtos de baixo valor, como são os produtos a granel (carvão, cereais, areia), estes são considerados baixos, dado que não são preocupantes, nem tão pouco são consideradas graves as perdas por atrasos. Porém, nos produtos de maior valor, as reclamações são maiores (Neves *et al.* 2018). Dessa

forma, importância de embalagens de proteção para as mercadorias, que evitam danos e perda durante as operações de carga e descarga (Ballau, 2008) .

As vantagens deste modal são (Neves *et al.* 2018):

- Qualquer tipo de carga;
- Capacidade de carga elevada;
- Baixo custo da tonelada de produto por quilómetro percorrido.

As desvantagens são:

- Maior tempo de trânsito provocado pela baixa velocidade dos barcos;
- Maior exigência de embalagem;
- Necessidade de transbordo nos portos;
- Distância aos centros de produção.

❖ Aéreo

Mesmo com um custo mais elevado que os outros modais, este é um meio de transporte que tem tido um aumento da procura, muito pelo facto de ser um transporte rápido da origem ao destino, principalmente nas longas distâncias. No entanto, a sua velocidade sai penalizada como todas as operações de *handling*, que são as mais lentas e o tempo dessas operações não estão incluídas. Daí que é essencial haver uma boa gestão com outro modal (ex. terrestre) para que se possa medir o tempo total de entrega porta a porta e não penalizar a velocidade do modo aéreo (Ballau, 2008).

O peso e as dimensões das mercadorias a serem transportadas neste modo, são restrições que devem ser tidas em conta. No entanto, tem forte contributo nas alterações de disponibilidade e consumo de produtos, quer sejam novos produtos, quer em estações que normalmente não estão disponíveis. A disponibilidade dos operadores de cada região podem comprometer a própria disponibilidade do serviço, mesmo que entre as principais cidades exista uma boa frequência de ligação. Além disso, e apesar de uma maior escolha de rotas, comparativamente com outros modos, por vezes, a penalização no tempo de transporte pode advir das condições climáticas (Rodrigue, Comtois & Slack, 2009).

“Espera-se que os custos de toneladas por milha de porta em porta caiam para cerca da metade dos atuais níveis de custo através dos benefícios de novas tecnologias, desregulamentação e programas de melhoria de produtividade. Isso tornaria o ar um concorrente sério com as formas mais premium de serviços de transporte de superfície” (Ballau, 2008).

Vantagens do transporte aéreo (Neves *et al.* 2018):

- Velocidade;
- Acesso a mercados onde seria mais difícil chegar com outros modais;
- Frequência dos percursos entre as principais cidades;
- Utilização em situações de emergência;
- Ideal para transporte de produtos de pouco volume e peso.

Como desvantagens, apontam-se:

- Menor capacidade de carga;
- Pouca flexibilidade (terminal-terminal e dependente de outro modal para entrega porta-a-porta);
- Elevado custo;
- Afetado pelas mudanças climáticas.

1.3.1. Multimodalidade e Intermodalidade

A Multimodalidade e a Intermodalidade são sistemas de operações de transporte realizadas com a utilização de mais que um modal de transporte. No entanto existem diferenças nestes dois métodos e todos os modais apresentam vantagens e desvantagens individuais. Assim, aplicar estes sistemas de operações de transportes, permitem a utilização das vantagens de cada modal, que quando empregues na combinação de dois ou mais modais, permitem um transporte de uma mercadoria rentável e eficiente, compensando assim, as desvantagens individuais de cada um dos modais utilizados.

A multimodalidade é entendida como a convergência das infraestruturas de mais de dois modos de transporte para o mesmo nodo. Está usualmente relacionada com conceito de cadeia descontínua, quer do modo de transporte, quer da unidade de carga. Para a

transferência de modal da mercadoria, são utilizados os interfaces logísticos (nodos) acarretando custos de manuseamento dessa mesma transferência. Neste sistema, apesar da utilização de mais que um modal, é emitido um único documento que cobre todo o percurso da mercadoria movimentada, desde o ponto de partida até ao ponto de chegada, sendo o responsável por todo o transporte o Operador de Transporte Multimodal (OTM) (Keedi, 2002).

A intermodalidade pode ser entendida como o transporte de mercadoria, desde o ponto de carregamento até ao ponto de entrega, efetuado através da combinação de pelo menos dois modos de transporte, sem manuseamento ou existência de quebra da unidade de carga transportada (Retto Uhlmann, 2017). Ribeiro & Boente (2014) conforme citado em Boente *et al.* (2016) defendem que na intermodalidade o documento de transporte é individual a cada modo utilizado e deve, da mesma forma, existir uma divisão, por todos os transportadores envolvidos, da responsabilidade da mercadoria a transportar.

A otimização dos fluxos e uma ágil movimentação das mercadorias é promovida pelo desempenho do sistema. Esse desempenho depende da flexibilidade e eficiência das plataformas de transbordo de modos, bem como da adaptação destes modos com as redes. Os custos operacionais de transbordo reduzem com a utilização de embalagens uniformizadas, como são os contentores e paletes *standard*. (Carvalho, 2010).

Teoricamente, pode-se fazer combinações entre todos os modais, no entanto só algumas serão exequíveis. A combinação chamada de *piggyback*, rodoviário-ferroviário e a *fishyback* que combina os modos rodoviário e aquático, utilizado especialmente no movimento internacional de mercadorias de alto valor (Retto Uhlmann, 2017).

Assim, a combinação rodoviário-ferroviário, designada por ***Trailer On a Flatcar (TOFC)*** ou *piggyback* não é mais que o transporte do semirreboque através da ferrovia. Uma combinação perfeita para longas distâncias onde são aliados a agilidade oferecida pelo transporte rodoviário com o baixo custo, apresentado pelo modo ferroviário, da Tonelada por Km da mercadoria transportada (Rushton *et al.* 2000). Dependendo de três fatores (propriedade do equipamento ferroviário, propriedade do equipamento rodoviário e o custo do serviço de transporte), para Ballau (2008) são oferecidos cinco planos nesta combinação:

- 1) Os reboques rodoviários são transportados por ferrovia, sendo cobrado à transportadora rodoviária uma taxa fixa pelo transbordo do reboque ou parte do custo.
- 2) Os operadores ferroviários oferecem um serviço porta-a-porta transportando nos seus próprios vagões os seus próprios reboques e contentores. Contratam operadores rodoviários locais para efetuarem a entrega da origem ao terminal de carga e do terminal de descarga ao destino, sendo estes operadores rodoviários compensados com tarifas comuns do transporte rodoviário. Este plano divide-se ainda:
 - a. Em relação ao plano 2, a exceção reside no facto de os operadores são os que fornecem a recolha ou a entrega, ou ambas;
 - b. Os operadores ferroviários fornecem unicamente os reboques e/ou contentores sendo o serviço de transporte de e para terminais ferroviários prestado pelo operador rodoviário.
- 3) O operador rodoviário pode enviar, em vagões por um custo fixo, os seus próprios reboques e/ou contentores por ferrovia, sendo da sua responsabilidade a recolha e entrega da mercadoria.
- 4) O operador rodoviário também fornece o equipamento ferroviário sobre o qual é transportado os, também, seus reboques e/ou contentores. À ferrovia é paga uma taxa fixa pela utilização dos carris e energia na movimentação das cargas.
- 5) Mais que um transportador ferroviário e rodoviário, apresentam um serviço de TOFC em conjunto. Tem o feito de cobertura de território de um com o que é servido pelo outro.

Outra combinação é a utilização de navios para transporte de veículos. É o designado **RORO (*Roll on Roll Off*)**, onde o veículo rodoviário, para além de ser transportado pelo transporte aquático, tem também a particularidade de a movimentação de carga e descarga do navio ser efetuada pelo próprio veículo rodoviário. Prescinde-se assim, da utilização de qualquer equipamento (Rushton *et al.* 2000).

A versatilidade de utilização dos contentores *standard* trouxe a possibilidade de serem transportados por quase todos os modais, revolucionando dessa forma o transporte intermodal. Para além de poder transportar diferentes tipos de carga (separadas ou a granel), da sua capacidade de carga e flexibilidade, adaptam-se a qualquer modal, o que influenciou

fortemente o transporte marítimo de mercadoria (Rushton *et al.* 2000 e Ballau, 2008). Sob o acordo TOFC, o *trailer* transportado num vagão pode ser visualizado de duas formas: como contentor; ou como um chassi de reboque. Por forma a poupar o peso morto do chassi e rodados do transporte rodoviário, o transporte é unicamente do contentor, denominando-se dessa forma de *Container-on-Flatcar (COFC)* (Ballau, 2008).

O modal rodoviário, para médias e médias-longas distâncias, ainda é apontado como uma mais viável. Segundo Carvalho (2010), esta opção prende-se com alguns fatores que levam a que o sistema Intermodal, embora em crescendo, seja ainda pouco utilizado. Os fatores são:

- Custos de manuseamento;
- Transbordos de modo para modo algo complexo;
- Inexistência de adaptação entre modos;
- Vantagens e potencialidades do sistema pouco exploradas.

1.3.2. Características dos modos de Transporte

Entre as características individuais dos cinco modos de transporte, bem como dos serviços de transporte disponíveis, o decisor terá de analisar qual o que vai de encontro às suas reais necessidades. Dessa forma, deverá conseguir o melhor balanceamento entre o custo e a qualidade do serviço, optando por um único modal ou a combinação de modais.

Para Ballau (2008), a resolução da escolha do serviço, assenta em três características comuns a todos os serviços em modos individuais. São eles o preço, a média de tempo de trânsito e as perdas e quebras. No entanto, Carvalho (2010) defende que essa comparação deve ter em consideração seis fatores, ou seja, acrescenta aos defendidos por Ballau (2008) a flexibilidade, capacidade e frequência.

- Preço

Compõe o custo total do serviço a própria movimentação da mercadoria, custo com seguros, custo adicional de recolha na origem e entrega no destino, custo com seguro, custos com possíveis perdas e quebras, custo de manuseamento e preparação da mercadoria para envio e custo de inventário em trânsito.

Com base em Ballau (2008) e Carvalho (2010), através da Tabela 1, pode-se ter uma noção do peso que os custos apresentam nos diferentes modos de transporte. Para além disso, e para a escolha do transporte, é necessário fazer a avaliação da mercadoria a transportar, nomeadamente, no que diz respeito ao seu valor, peso, dimensão e distância. Como exemplo, um volume de alto valor e que se encontra a média-longa, ou longa distância será mais indicado a utilização de um serviço aéreo, contrapondo com as matérias primas, que geralmente são movimentação em grandes volumes, longas distâncias e são materiais de baixo valor, o mais indicado será o transporte marítimo.

Tabela 1 – Peso do custo por modos Transporte (Ton.-Km)

Modo	Peso do Custo (ton. km) 1 = menor
Aéreo	5
Rodoviário	4
Ferroviano	3
Marítimo	1
Pipeline	2

- Média de tempo de trânsito e variabilidade

Considera-se tempo de trânsito como o tempo médio que leva a movimentação da mercadoria, desde o seu ponto de origem até ao seu ponto de destino. Esta medição do tempo médio de trânsito, deve ser efetuada considerando as entregas porta-a-porta, uma vez que poderá ser necessário efetuar uma movimentação de mercadoria utilizando mais do que um modo de transporte, pelo facto de alguns modos de transporte não permitirem entregas porta-a-porta (por exemplo, transporte marítimo e aéreo). Além disso, há que ter em conta que todos os modos de transporte têm velocidades diferentes. (Ballau, 2008). Aliás, esse facto é reforçado por Carvalho (2010), onde menciona que na maioria dos sistemas intermodais, o transbordo da carga de modal para modal, é um facto de relevo na afetação do tempo de trânsito.

- Perdas e Quebras

Uma das características que pesa na seleção de um modo de transporte prende-se com as perdas e quebras. Um dos pontos principais que o cliente avalia é, em que condições o artigo lhe é entregue.

Segundo Carvalho (2010), os modos que apresentam melhor taxa de eficiência neste ponto são, o aéreo e o *pipeline*. O ferroviário é penalizado pelas manobras efetuadas com as carruagens, as quais provocam choques, responsáveis por uma maior taxa de perdas e quebras neste modo.

O transportador tem a responsabilidade de efetuar o transporte, tendo os cuidados necessários para que a mercadoria chegue ao seu destino sem danos e quebras. Não são da sua responsabilidade todas as perdas e quebras decorrentes de acontecimentos e catástrofes naturais, defeitos de embalagem do remetente ou de qualquer outra causa que esteja fora do seu controlado (Ballau, 2008).

Tabela 2 – Custo, Média de Tempo Trânsito, Variabilidade e Perdas e Quebras por modal

Modo de Transporte	Custo ^a	Média Tempo de Entrega ^b	Variabilidade no Tempo de Entrega		Perdas e Quebras
	1 = mais caro		Absoluto	Percentagem ^c	
		2 = mais rapido	1 = menor	1 = menor	1 = menor
Ferrovioario	3	3	4	3	5
Rodoviário	2	2	3	2	4
Maritimo	5	5	5	4	2
Pipeline	4	4	2	1	1
Aéreo	1	1	1	5	3

^a Custo por ton.km

^b Velocidade porta-a-porta

^c Racio da variação absoluta no tempo de entrega para tempo médio de entrega

- Flexibilidade

De entre todos os modais, o transporte rodoviário é o que apresenta a maior flexibilidade. Esta características a agilidade que o modo de transporte tem para efetuar uma entrega porta-a-porta, e nesse capítulo o rodoviário consegue efetuá-lo eliminando operações de transbordo (Tabela 3). Contrariamente, estão todos os outros modos necessitam de efetuar transbordo, normalmente, para do rodoviário como modo secundário, veja-se, por exemplo,

o caso do transporte marítimo. Este necessita do transporte rodoviário para transportar a mercadoria da origem para o cais de carga do navio e no cais de chegada e descarga do navio, transportar a mercadoria até o destino final (Carvalho, 2010).

- Capacidade

Na seleção de um modo ou sistema de transporte, esta é uma característica que tem grande influência, onde se deve considerar a natureza da carga a transportar, tendo em conta o peso, densidade e as suas dimensões (Tabela 3). (Carvalho, 2010).

- Frequência

Ainda segundo Carvalho (2010) a frequência prende-se com o número de vezes em que a ligação entre o ponto de origem e de destino são efetuados, influenciando o inventário em trânsito.

Na Tabela 3, pode encontrar-se o resumo das três características defendidas por Carvalho (2010).

Tabela 3 - Flexibilidade, Capacidade e Frequência por modal

Modo	Flexibilidade	Capacidade	Frequência
Aéreo	Pouco Flexível Entre terminais/aeroportos e necessita transporte alternativo (à origem e destino); boa ligação entre grandes cidades	Adequado para mercadoria de alto valor e pequena dimensão e transportes de emergência. Tem também limitações quanto ao tipo de mercadoria	Entre os grandes centros urbanos apresenta uma frequência razoável
Rodoviário	Grande Flexibilidade Porta-a-porta	Limitação de dimensão da carga	Modo com grande capacidade de adaptação. Nos sistemas que requerem muita frequência de abastecimento, este é o modal mais utilizado (ex. <i>just in time</i>)
Ferroviário	Pouco Flexível Entre terminais/estações e possui uma rede ferroviária limitada	Transporta maior diversidade de mercadorias e possui elevada capacidade de carga	Frequência de horários baixa
Marítimo	Pouco Flexível Origem/destino limitados pela orla marítima	Capacidade alta O aumento da utilização das cargas contentorizadas permite transporte de maior volume com grande diversidade de mercadoria	Baixa frequência
<i>Pipeline</i>	Pouco Flexível A rede é limitada e necessita de transporte alternativo para o destino final	Capacidade alta, mas limitada ao transporte de matéria líquidas ou gasosas	Alta frequência, permitindo o abastecimento contínuo

1.3.3. Escolha do Modo de Transporte

Para a escolha do modo de transporte, ou sistema de transporte a utilizar, deve ter-se em conta as características de cada modal, bem como as características da carga a ser transportada (Retto Uhlmann, 2017).

Assim, Carvalho (2010) menciona alguns critérios de diversos autores, para a escolha do transporte mais adequado para a movimentação de uma determinada mercadoria. Veja-se o caso do modelo multicritério aditivo, defendido por Kasilingham (1998), onde se assume um só modo de transporte, definição de pesos consoante a importância relativa de cada critério, que é dada pelo decisor. Este é um modelo também conhecido pelo modelo das pontuações, em que são considerados seis critérios (Tempo de Trânsito, Variabilidade do Tempo de Trânsito, Custo, Capacidade, Perdas e o Serviço ao Cliente), pontuados numa escala crescente de 1 a 10. O peso reflete a importância que cada critério terá para o decisor na escolha do modal (valor percentual), como se pode verificar na Tabela 4.

Tabela 4 – Modelo Multicritério Aditivo na escolha do modo de transporte

Critério	Peso	Modo 1		Modo 2	
		Escala	Ponderação	Escala	Ponderação
Tempo de Transito	22%	7	1,54	5	1,10
Variabilidade do Tempo de Transito	19%	5	0,95	7	1,33
Custo	9%	8	0,68	4	0,34
Capacidade	17%	2	0,34	6	1,02
Perdas	20%	5	0,98	4	0,78
Serviço ao Cliente	14%	6	0,84	9	1,26
Pontuação		5,33		5,83	

Uma outra abordagem é apresentada por Carvalho (2010), que tem por base o cruzamento dos fatores 2 a 2 para auxílio no processo de tomada de decisão. Ou seja, são definidos os fatores decisórios e tendo em conta o conhecimento de todas as características das redes, os fatores são cruzados. Tendo por base este método, é apresentada, com vista à minimização de custos de transporte, uma abordagem simples onde são considerados, unicamente, os fatores distância e dimensão da carga (Tabela 5), deixando de fora todos os outros aspetos que influenciam a avaliação da movimentação de mercadorias (Rushton *et al.* 2000).

Tabela 5 – Matriz Dimensão da Carga VS Distância a percorrer para escolha do modo transporte

		Modo			
Dimensão da Carga	100 ton.	Rodoviário	Rodoviário Ferroviário	Rodoviário Marítimo	Marítimo
	20 ton.	Rodoviário	Rodoviário	Rodoviário Ferroviário	Ferroviário Marítimo
	Paquete	Rodoviário	Rodoviário	Rodoviário Ferroviário	Aéreo Marítimo
	Pacote	Rodoviário	Rodoviário Aéreo	Rodoviário Aéreo	Aéreo
		Pequena	Média	Longa	Muito Longa
Distância					

1.3.4. *Incoterms*

Para solucionar problemas associados aos contratos de comércio internacional, nomeadamente a divisão dos custos, risco e responsabilidades, uma vez que não existia qualquer tipo de legislação regulamentar, no decorrer do transporte de materiais, para a afetação de custos diretos e obrigações de vendedores e clientes, foram criados os *Incoterms* (*International Commercial Terms*), regras oficiais publicadas pela ICC (*International Chamber of Commerce*) – www.iccwbo.org.

Surgiram assim os primeiros *Incoterms*, em 1936, onde se incluía FAS (*Free Alongside Ship*), FOB (*Free on Board*), C&F (*Cost and Freight*), CIF (*Cost, Insurance and Freight*), DES (*Delivered Ex Ship*) e DEQ (*Delivered Ex Quay*). Desse longínquo ano até aos dias de hoje, essas regras sofreram algumas alterações, fruto da evolução do próprio setor e do necessário ajuste da legislação às necessidades mais atuais.

A primeira revisão ocorreu em 1953, devido à ascensão do transporte ferroviário, com a inclusão de três novos termos comerciais, DCP (*Delivered Cost Paid*), FOR (*Free on Rail*) e FOT (*Free on Truck*), para o transporte não marítimo. Com o intuito de debelar interpretações incorretas da primeira versão, a ICC lança em 1967 a segunda revisão das regras incluindo dois novos termos comerciais: DAF (*Delivered at Frontier*), que define a entrega na fronteira; e o DDP (*Delivered Duty Paid*), a entrega no destino. Em 1974, na terceira revisão, é incluído o novo termo FOB Airport (*Free on Board Airport*), resultante

dos avanços nas viagens aéreas. Visa colmatar a confusão com o FOB que direcionava para a utilização de “navio”.

Em 1980 surge a quarta revisão das regras *Incoterm*. Com a proliferação da utilização de contentores para transporte de mercadorias, introduziu o *Free Carrier...no Ponto Nomeado* (FRC) que define que a mercadoria era recebida em terra (parque de contentores) e não pelo navio. A simplificação do termo *Free Carrier* dá-se na quinta revisão, em 1990, onde as regras específicas a modos de transporte são excluídas, tal como FOR (*Free on Rail*), FOT e FOB *Airport*, passando a ser unicamente necessário a utilização do termo geral FCA (*Free Carrier... no Ponto Nomeado*).

As duas alterações seguintes tiveram lugar já no segundo milénio, uma em 2000, devido a questões de abordagem por parte das autoridades aduaneiras, com a modificação das regras nos *Incoterms* FAS e DEQ. Em 2010 dá-se a penúltima alteração onde, para além de obrigar a uma maior cooperação entre comprador e vendedor na partilha de informações e alterações nas vendas em cadeia, também trouxe alterações nos *Incoterms* da família D. Ou seja, removeu o DAF, DES, DEQ e DDU (*Delivered Duty Unpaid*) e incluiu o DAP (*Delivered at Place*) e o DAT (*Delivered at Terminal*)

A partir do mês de janeiro de 2020, com o intuito de contribuir para a simplificação nas operações de comércio global, entraram em vigor as novas regras *Incoterms* definidas pela ICC (ICC releases *Incoterms*® 2020). Para Além da simplificação e facilitação das trocas comerciais de mercadorias, nas exportações e importações, pretendem estas regras transmitir maior segurança e clareza às entidades (exportadores, importadores e entidades aduaneiras), através da introdução de uma linguagem mais universal, definir os termos, de custos e responsabilidade entre as partes envolvidas, e na forma como é executado o transporte de mercadorias.

Esta versão dos *Incoterms* 2020 (Anexo I) apresenta as principais alterações:

- Desdobramento do FCA em duas vertentes, ou seja, tornar a sua aplicação mais clara e prática, em que um regulará o transporte terrestre e um outro FCA regulará o transporte marítimo;
- Alteração do *Incoterm* DAT (*Delivered at Terminal*) para o novo DPU (*Delivered at Place Unloaded*) para esclarecer que o local de destino pode ser qualquer local e não apenas um terminal;

- Acordos para utilização de meios próprios de transporte nos *Incoterms* FCA, DAP, DPU e DDP.

Segundo John W. H. Denton AO, secretário-geral da ICC, aquando do lançamento desta última versão destas regras internacionais do comércio, afirmou que as regras fazem os negócios funcionarem, ajudando na compreensão das responsabilidades por parte dos exportadores e importadores de todo o mundo, bem como, evitar constrangimentos dispendiosos por má informação. A confiança no sistema de comércio global é gerada com a ajuda destas regras, já que se tornaram numa língua franca das transações internacionais de compra e venda (ICC releases *Incoterms*® 2020).

2. Planeamento de Rotas e Redes

Os custos de transporte por norma têm um peso nos custos logísticos totais que variam entre um terço e dois terços dos custos totais de logística. Assim, a preocupação passa por melhorar a sua eficiência através da utilização maximizada, quer de equipamentos, quer do pessoal de transporte (Bremenkamp *et al.* 2016). *“O período em que as mercadorias estão em trânsito reflete-se no número de entregas que podem ser feitas com um veículo dentro de um determinado período e nos custos totais de transporte para todas as entregas”* Ballau (2008).

As consequências serão negativas para as organizações que não tenham de um planeamento de rotas que funcione de forma eficiente. Irá refletir-se no seu resultado potencial e no nível de serviço prestado, resultante das ineficiências criadas, tais como, custos altos de stock, baixa rotatividade do produto, capacidade disponível, etc. (Menchik, 2010).

O desempenho da Cadeia de Abastecimento, é fortemente influenciada pelo fluxo de mercadorias gerado ao longo do conjunto de nodos e rotas, que definem a rede de transporte (Lima Jr., 2016). Ou seja, satisfazer os requisitos de nível de serviço ao cliente com os custos totais de transporte minimizados, através de uma definição otimizada do caminho a percorrer ao longo da rede (Figura 2 e Figura 3), integrando a avaliação do respetivo custo de transporte e os custos de inventário.

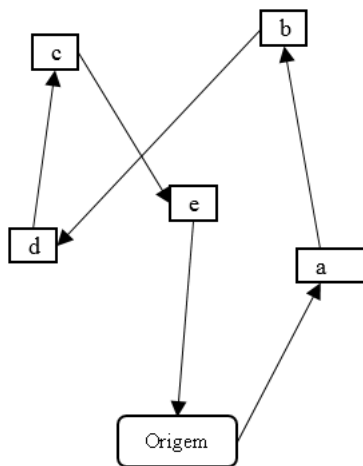


Figura 3 – Rede não Otimizada
Adaptado de Menchik, 2010

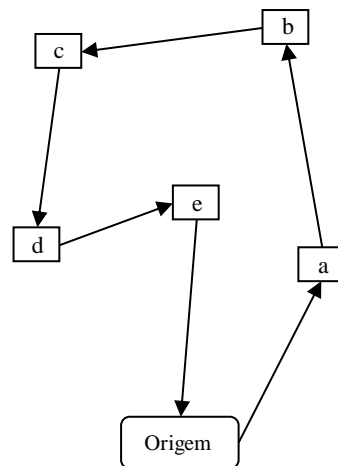


Figura 2 - Rota Otimizada
Adaptado de Menchik, 2010

Os problemas de rotas têm diversas variações, no que toca ao número de pontos de origem e, igualmente, respeitante ao número de pontos de destino. Ou seja, poderá apresentar um caminho na rede em que o ponto de origem e o ponto de destino são diferentes, tal como poderá apresentar um problema semelhante com múltiplos pontos de origem e de destino, ou ainda, uma rota em que o ponto de origem e de destino são os mesmos (Bremenkamp et al, 2016).

Para se conseguir resolver os problemas de rotas, existem dois métodos: os métodos exatos, que possibilita a obtenção de uma solução ótima para o problema, no entanto, segundo Brejon (1998) estes, devido aos seus custos e tempos de resposta altos, tornam-se proibitivos; e os métodos heurísticos, que se caracterizam por fornecer a melhor solução para o problema e não a solução exata, com um custo menor e mais rápido (Menchik, 2010).

2.1. Abordagens e Heurísticas

Com base no mencionado no final do ponto anterior, Menchik (2010) define a heurística como sendo a “*técnica que melhora a resolução do problema de roteirização no caso médio, e não de forma exata.*”. Já para Durbach *et al.* (2020) trata-se de um método que se baseia na experiência ou julgamento, pode levar a uma boa solução de um problema, mas, no entanto, não garante a obtenção de uma solução ótima.

Assim, o mesmo autor menciona que as vantagens da utilização das heurísticas, passam por estas apresentarem soluções rápidas o que se traduz também, na obtenção de decisões

rápidas. Porém, estes métodos devem ser utilizados, não em todas as situações, mas sim quando se verifique que:

- Não exista um método que forneça uma solução exata para o problema;
- Impossibilidade de utilização dos modelos de otimização pela complexidade da realidade do problema;
- Inexistência de algoritmos adequados para a resolução do problema;
- Demasiado tempo para a simulação;
- Obtenção de boas soluções iniciais com a utilização de heurísticas, possibilitando melhoria na eficiência do processo de otimização.

Verifica-se que a utilização das heurísticas, como sendo um elo de ligação com os restantes métodos, facilitam quer a utilização dos algoritmos, quer no encontrar da melhor solução para o problema (Menchik, 2010).

Dessa forma, no que diz respeito às heurísticas de planeamento de rotas, existem quatro critérios que devem ser considerados: a exatidão dos dados, velocidade, simplicidade e flexibilidade (Cordeau *et al.* 2002). Sendo que, para a obtenção da solução para os problemas de rotas se podem dividir em abordagem da heurística clássica ou da meta-heurística.

Assim, como heurística clássica pode mencionar-se a heurística de *Clarke & Wright* como sendo a mais utilizada na resolução de problemas de rotas, por possibilitar que sejam consideradas diversas restrições, o que leva, não à solução ótima, mas à solução mais adequada ao problema em questão (Menchik, 2010).

Por outro lado, a meta-heurística tem um melhor desempenho na procura da solução, comparativamente com a heurística clássica, apresentando por vezes movimentos que não são viáveis e novas soluções por recombinações de outras soluções.

Num artigo científico realizado por Becceneri (2008), este define a meta-heurística como *“uma estratégia de procura, não específica para um problema, que tenta explorar eficientemente o espaço das soluções viáveis desse problema. São algoritmos aproximados que incorporam mecanismos para evitar confinamento em mínimos e máximos locais. Conhecimentos específicos do problema podem ser utilizados na forma heurística para auxiliar no processo de procura (de um possível bom vizinho de um determinado ponto.”*

Já para Menchik (2010) a meta-heurística não é mais que uma heurística a comandar outra heurística, através de um processo que guia uma heurística auxiliar pela combinação inteligente de conceitos para exploração e procura de locais, com aptidão para fugir de locais ótimos, capazes de resolver um problema de otimização.

Algumas meta-heurísticas conhecidas são:

- *Simulated Annealing*;
- Pesquisa Tabu;
- Colonia de Formigas;
- *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* (GRASP);
- Meta-heurísticas híbridas.

A definição, numa rede, de operações de transporte, para além da complexidade envolvida, necessita de um sistema que apoie o decisor na tomada da decisão pela solução que mais se adequa ao problema que tem em mão e, para isso, esse sistema integra recursos e modelos matemáticos, também eles complexos (Engelen, *et al.* 2018).

2.1.1. Problema Caminho mais curto

O problema do caminho mais curto é a movimentação, através de uma rede composta por nodos e ramos, do ponto de origem ao ponto de destino, numa sequência que tem por finalidade efetuar essa ligação com o menor custo (Monteiro *et al.* 2018).

Para Monteiro *et al.* (2018), esta será a técnica mais simples e direta para a definição de uma rota, onde, com uma rede constituída por *links* (ramos) e nós, em que os ramos são os valores a considerar (custo, distância, tempo) entre os nós e os nós (nodos) são os pontos de ligação entre os ramos. Sendo que nesta técnica, e uma vez que inicialmente não existe qualquer rota definida, todos os nodos são considerados não resolvidos. Com início na origem, os nodos vão sendo considerados resolvidos à medida que a rota se vai definindo.

Assim, segundo Ballau (2008), tendo o seu início na origem e sendo este já um nodo resolvido, seguimos o seguinte critério:

- Encontrar o nodo mais próximo da origem e repetir para $n = 1, 2 \dots$ até o nó mais próximo ser o destino.

- Entrada para a n iteração - ($n-1$) os nodos mais próximos da origem, resolvidos na iteração anterior, onde se inclui a rota mais curta e a distância da origem. Estes são os nodos resolvidos (nodos, mais a origem), os outros são os nodos não resolvidos.
- Cada nodo que vai ficando resolvido ao longo da rede, vai fornecendo candidatos, através da ligação por um ramo (ou ramos) a um nodo (ou mais nodos) não resolvido mais próximo. Essas ligações fornecem candidatos adicionais.
- Para o cálculo do nodo mais próximo, adicionar a distância entre o nodo resolvido e o seu candidato e a rota mais curta da origem até ao nodo resolvido. O candidato com a menor distancia total, e mais curta, é o n nodo mais próximo.

Com base na rede abaixo (Figura 4), pode exemplificar-se o modo de obter o caminho mais curto, desde a origem (A), até ao destino (J), sendo que neste caso considera-se o fator tempo para o cálculo. Todos os valores dos ramos estão em minutos.

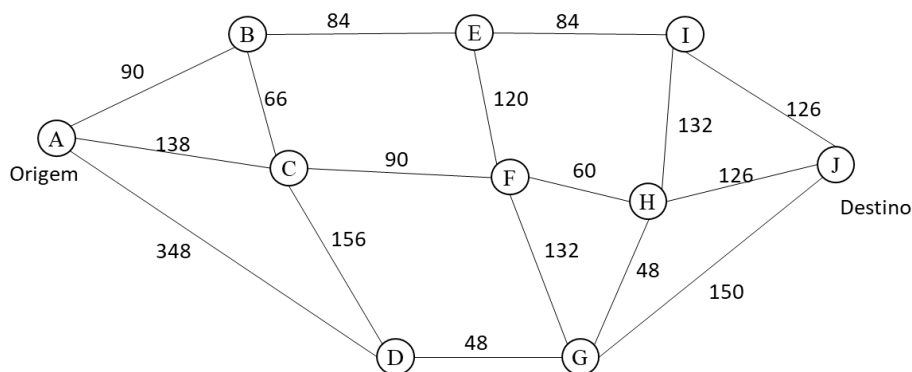


Figura 4 – Rede inicial para calculo do Problema do Caminho mais curto Adaptado de Ballau (2008)

Com base nos critérios e metodologia mencionados anteriormente pelo autor, obtém-se uma ligação sequencial das iterações, desde o ponto de origem até ao ponto de destino, o que neste caso concreto se devolve o caminho $A \rightarrow B \rightarrow E \rightarrow I \rightarrow J$, com um total de 384 minutos.

2.1.2. Problema Caixeiro Viajante (*Traveling salesman problem*)

No problema do Caixeiro Viajante, a origem e o destino são o mesmo ponto. Este método caracteriza-se por, num determinado conjunto de pontos (clientes), estes serem visitados de forma sequencial, uma única vez, regressando ao ponto de partida, com o objetivo de minimizar os custos totais (Figura 5) (Araripe, 2017). Ainda segundo o mesmo autor, nalguns problemas de maior complexidade, são utilizadas heurísticas, como por exemplo a heurística do Vizinho mais Próximo, que se trata de uma heurística miópica porque, em cada iteração, procura a melhor alternativa sem ter em atenção as iterações seguintes (Carvalho, 2010).

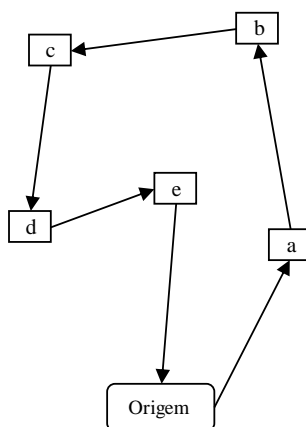


Figura 5 – Problema do Caixeiro Viajante
Adaptado de Menchik, 2010

Para Menchik (2010), o problema do Caixeiro Viajante tem como objetivo encontrar a melhor rota de paragens sequenciais, que assegure que todos os pontos sejam visitados uma vez, minimizando a distância total a percorrer, e sem cruzamentos do caminho.

Neste método, diz-se que uma sequência de paragens é boa, quando não existem cruzamentos no seguimento da rota. A regra para este tipo de resolução de rotas é o da forma que a rota pode tomar (Freitas *et al.* 2014), ou seja, a sua forma tende a aumentar ou a representar uma configuração em forma de lágrima. Com isto, existem situações simples, em que se tornar mais fácil e rápido, o operador criar uma rota, quando comparado com a utilização de cálculos informáticos.

Na Figura 6 está representada uma rede simples, onde o nodo A é o ponto de origem e destino e se assume que as ligações entre os nodos representam o tempo em minutos a percorrer. Utilizando o método do Caixeiro viajante, obtém-se o caminho $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E \rightarrow D \rightarrow A$, como tempo total de 171 minutos.

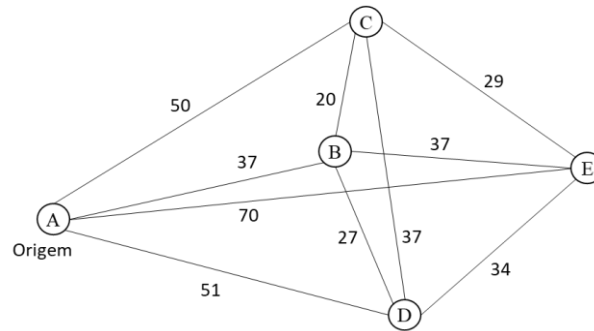


Figura 6 – Rota simples do Problema do Caixeiro Viajante Adaptado de Ballau (2008)

2.1.3. Problema de Transportes (Canto NW - *Milk Run*)

Este problema verifica-se quando temos uma rede com várias origens e vários destinos diferentes e é necessário encontrar uma rede que defina os fluxos entre cada origem e cada destino (Carvalho, 2010).

No mesmo seguimento, Ballau (2008) menciona que esta situação levanta o problema, não só de se definir a melhor rota, mas também da atribuição de destinos. É um problema que se torna complicado, não só pela diversidade dos pontos de origem e dos pontos de destino, mas também pelo facto dos pontos de origem terem como restrição a quantidade total encomendada pelo cliente, ou pelos diversos clientes a ser fornecida por cada ponto de origem. Nesta situação, o autor refere como uma opção de resolução para este tipo de problema de transporte, a aplicabilidade de algoritmos de programação linear, nomeadamente métodos de transporte como é o caso do Canto NW (Noroeste).

Veja-se o exemplo a seguir (Figura 7), com valores mencionados puramente académicos, aplicando este algoritmo.

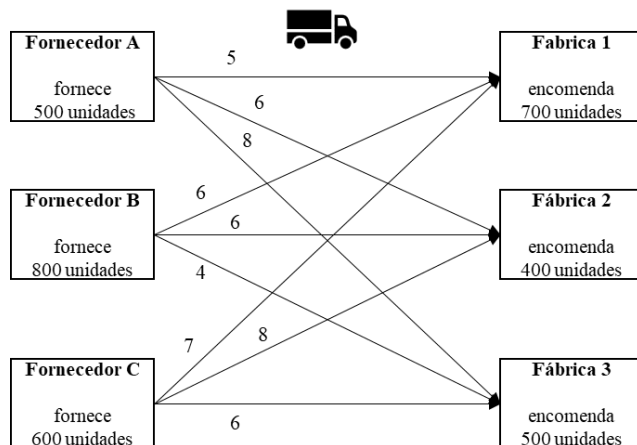


Figura 7 – Rede com Múltiplos pontos de Origem e de Destino
Adaptado Ballau (2008)

Assim, fazendo a distribuição das encomendas das fábricas, no total de 1600 unidades, utilizando este método, obtém-se as rotas na Tabela 6: o fornecedor A envia mercadoria unicamente para a fábrica 1; o fornecedor B envia mercadoria para todas as fábricas (200, 400, 200 unidades para as fábricas 1, 2 e 3, respetivamente); e finalmente o fornecedor C envia unicamente mercadoria para a fábrica 3.

Tabela 6 – Problema de Transpores – aplicação do método Canto NW

Origem	Destino			Total	1600
	1	2	3		
A	500			500	
B	200	400	200	800	
C			300	300	
Total	700	400	500		1600

No que toca a custos, com este método obtém-se um custo de 8700€.

Tabela 7 – Custos Problema de Transpores – aplicação do método Canto NW

Origem	Custo por ton. €			Custo total		
	Destino			Destino		
	1	2	3	1	2	3
A	5	6	8	2500		
B	6	6	4	1200	2400	800
C	7	8	6			1800
				8700		

Um dos métodos que pode ser utilizado num problema de múltiplas origens e destinos é o *Milk Run* (Figura 8). Contrariamente aos envios diretos das diferentes origens, este sistema permite que um destino seja abastecido por um carro que passar pelas diferentes origens. Este tipo de configuração é muito utilizado por indústrias, nomeadamente da indústria automóvel, como meio de abastecimento *Just-In-Time*. Embora complexo de se coordenar, leva à otimização das cargas a transportar, sendo de menor dimensão de cada origem, e consequentemente, uma redução de inventário (Carvalho, 2010).

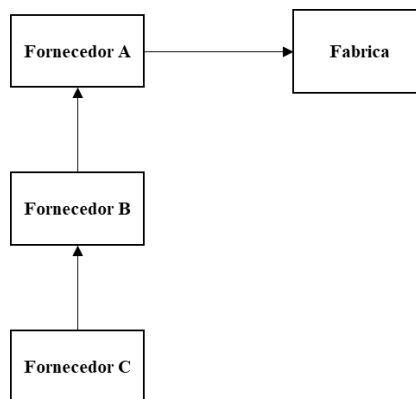


Figura 8 – Problema de Transportes – *Milk Run*
Adaptado Carvalho (2010)

2.1.4. VRP (*Vehicle Routing Problem*) - Heurística Clarke & Wright

O VRP, ou problema de rotas, tem a base de conceito do problema do Caixeiro Viajante, aumentando a sua complexidade por via de se considerarem neste problema, restrições que levam à definição da rota, ou rotas no mesmo problema, em que o objetivo é encontrar os caminhos que passem por todos os pontos a visitar por veículo, ao custo mais baixo. As restrições passam pela utilização de vários veículos cujas capacidade são limitadas (Gama dos Santos *et al.* 2019).

No entanto, para Ballou (2008), considera serem seis as restrições que devem ser tidas em conta para a resolução deste problema, as quais penalizam a obtenção de uma solução ótima pela colossal complexidade que introduzem ao problema.

1. Em cada paragem poderá haver entrega e recolha de mercadoria.
2. Utilização de veículos com diferentes capacidades (peso e volume).
3. Os períodos de descanso obrigatórios dos motoristas em relação ao tempo seguido de condução (condicionante legal).

4. Outros períodos de descanso do motorista (ex. horário de almoço).
5. Janelas horárias para as entregas e/ou recolhas.
6. As recolhas de mercadorias serem só permitidas após efetuar todas as entregas.

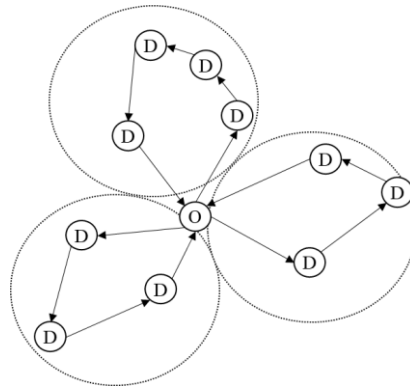


Figura 9 – Representação de VRP, ou Problema de Rotas
Adaptado de Carvalho (2010)

Ballau (2008) acrescenta ainda a existência de princípios orientadores que devem ser considerados por quem tem o papel de desenvolver rotas o mais otimizadas possível.

- Carregar os veículos para passarem pelos pontos mais próximos uns dos outros, evitando a definição de rotas longas, minimizando as deslocações entre nodos e, conseqüentemente, minimizar a deslocação total.
- Rotas mais pequenas e em dias diferentes, irá reduzir quer o número de veículos no problema, quer o tempo e distância de viagem, através do escalonamento das rotas pelos dias da semana.
- Criar rotas começando com o nodo mais distante da origem, pode originar rotas eficientes, uma vez que, após ajustado o volume e a capacidade do veículo e identificar os nodos mais próximos, torna as rotas mais curtas.
- A rota deve formar uma configuração em forma de lágrima, tal como referido como no ponto do problema do Caixeiro Viajante.
- Utilização dos veículos maiores para que seja possível criar uma rede mais eficiente, em que alcance o maior número de nodos, minimizando, quer o tempo, quer a distância total da rota.
- As recolhas deverão ser efetuadas junto com as entregas e não no final, após todas as entregas realizados. Este princípio dependerá, das configurações do veículo,

bem com, das embalagens a recolher. Evita-se assim, o possível cruzamento do caminho durante a rota.

- Remover da rota um nodo isolado, pode mostrar-se benéfico com a utilização de um meio de entrega alternativo, principalmente se a mercadoria a entregar seja um pequeno volume. A contratação de uma empresa de transporte (ex. UPS, FedEx) pode relevar-se uma boa alternativa.
- Evitar restrições nas janelas de paragem, com vista ao surgimento de sequenciamento fora dos padrões ideais.

Uma das heurísticas utilizadas para resolução deste tipo de problemas é o método *Clarke & Wright*, sendo um método base na definição de rotas, dado que permite a consideração de várias restrições e que apresenta boas soluções (Menchik, 2010). Esta abordagem, em problemas com poucas restrições e comparativamente com a solução ótima do problema, permite obter uma solução muito próximo do ótimo, ou seja, situa-se 2%, em média, acima do ótimo (Gama dos Santos, 2019). Esta heurística, comumente conhecida por método das poupanças (*savings method*), resulta na combinação dos destinos numa rota, a partir da origem, em comparação como rotas diretas a cada um deles, a partir da origem (Bremenkamp *et al.* 2016).

Formula para o cálculo da poupança:

$$2 (D_{OA} + D_{OB}) - (D_{OA} + D_{AB} + D_{BO}) = D_{OA} + D_{OB} - D_{AB}$$

Graficamente podemos verificar na Figura 10 qual a base do conceito e a fórmula de cálculo para a sua resolução. A resolução do problema com este método inicia com o cálculo da matriz das poupanças, seguidamente ordená-las por ordem decrescente, e por fim, incluir na rota, de forma sucessiva, o nodo com a maior poupança, até todos os nodos estarem incluídos, sem violação das restrições.

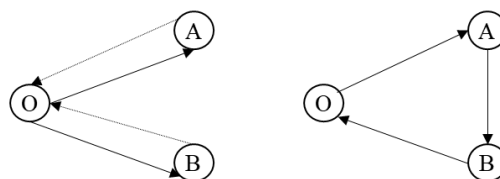


Figura 10 – Representação gráfica método Clark & Wright
Adaptado de Carvalho (2010)

3. Caso de Estudo

Desde o fim do primeiro trimestre de 2017, a empresa X (assim designada para salvaguarda de sua identificação) da indústria automóvel, situada a norte de Portugal continental, mais precisamente na região do Minho, à imagem das restantes empresas do mesmo ramo, tem sofrido um enorme aumento de produção, situando-se em mais do dobro.

Como é sobejamente conhecido, o fenómeno da globalização, onde a logística tem um papel fulcral, permitiu que os fornecedores de uma determinada empresa, deixassem de se situar à porta desta para se colocarem em qualquer parte do globo. Com isto, o transporte de todos os materiais, matérias-primas e/ou produtos acabados, são movimentados de um local para o outro através de um sistema de transportes onde podem ser utilizados vários modais. Tendo em consideração, o tipo de mercadoria a ser transportada, a distância, o tipo de modal e/ou modais mais adequados para a sua movimentação e, também, o menor custo para a operação.

Assim, tendo por base um problema real que a empresa X enfrenta de momento, como será descrito mais adiante, no que diz respeito ao transporte de matéria-prima e semiacabados dos seus fornecedores até às suas instalações, pretende-se definir uma rede de transporte que seja a mais adequada à sua realidade e necessidades.

Tendo em consideração, o facto dos pontos de carga se localizarem no centro da Europa, de os volumes a carregar em cada ponto de carga não ultrapassarem as quatro paletes, o modal a utilizar na rede a definir, será o transporte terrestre, nomeadamente o rodoviário, pela sua flexibilidade e capilaridade, que permite chegar a todos os pontos da rede e, igualmente, uma entrega porta-a-porta. Assim, os veículos a utilizar na rede, passa por camiões articulados de 24 toneladas brutas e abrangerá os fornecedores situados na Áustria e Alemanha.

Alguns destes fornecedores trabalham com o *Incoterm* DDP, em que estes assumem a responsabilidade total pela mercadoria até entrega nas instalações do cliente, mas uma grande fatia já trabalha com o *Incoterm* FCA, ou seja, o fornecedor coloca a mercadoria pronta, devidamente embalada, no veículo disponibilizado pelo comprador, indicando “FCA local do vendedor”, sendo por conta do fornecedor o desalfandegamento de exportação quando o haja. O objetivo e normativa do *corporate* da empresa é que todos os fornecedores trabalhem com o *Incoterm* FCA.

A sua estrutura de atividade abrange várias áreas e encontra-se subdividida em 5 grupos de atividade dentro de todas as tecnologias de segurança ativa e passiva produzidas pela mesma, que passam pelos Sistemas de Travagem, Sistemas de Direção, Eletrónicos, Sistemas de Segurança de Ocupantes e Outras Empresas.

O Grupo emprega globalmente cerca de 147500 pessoas, sendo que, a divisão em que a empresa X se enquadra, a nível global emprega cerca de 10400 pessoas.

Em Portugal, como mencionado no ponto anterior, as unidades produtivas e um polo de Investigação e Desenvolvimento situam-se na região do Alto Minho, desde o ano 2000, e empregava um número de pessoas que se cifrava, antes da pandemia do COVID-19, em cerca de 1600 pessoas.

3.2. Estado Inicial

O problema que a empresa X tinha para solucionar, tem por objetivo minimizar o custo de operação na recolha de matéria-prima nos fornecedores localizados na Alemanha e Áustria. É um circuito onde intervêm dois operadores logísticos, ou seja, um deles faz a recolha dos materiais em todos os fornecedores, armazenando-os nas suas instalações, e o segundo recolha nas instalações do primeiro para proceder à entrega na Empresa X.

Nesta operação, estão incluídos o custo de transporte com recolha do material dos fornecedores para o armazém (J), mais o custo de armazenagem, somando ainda o custo de transporte com a recolha do material do armazém (J) para a Empresa X. O custo total anual com este cenário operacional ronda os 89.000,00€.

Para além do custo com o movimento e armazenagem da matéria-prima, esta operação traz também a dificuldade de garantir um tempo de trânsito mais curto, o que faz com que o valor de inventário seja ele, igualmente, mais alto. Com a eliminação do operador logístico local e puxando para a empresa a responsabilidade do transporte, através da alteração do *Incoterm*, passado de DDP para FCA, pretende-se obter um maior controlo das matérias (quer em trânsito, quer dentro de portas), minimizando assim, o tempo de trânsito, o valor de inventário para dois dias e o valor total da operação.

Assim, e como se pode observar-se no mapa (Figura 12), a distribuição das localizações dos fornecedores, bem como a localização do operador que recolhe e armazena (ponto J) e a localização da empresa X (ponto K).



Figura 12 – Distribuição geográfica dos fornecedores, operador germânico e da Empresa X
Fonte: Google Maps

Na Figura 13 encontram-se todos esses pontos representados num grafo, com as respetivas distâncias:

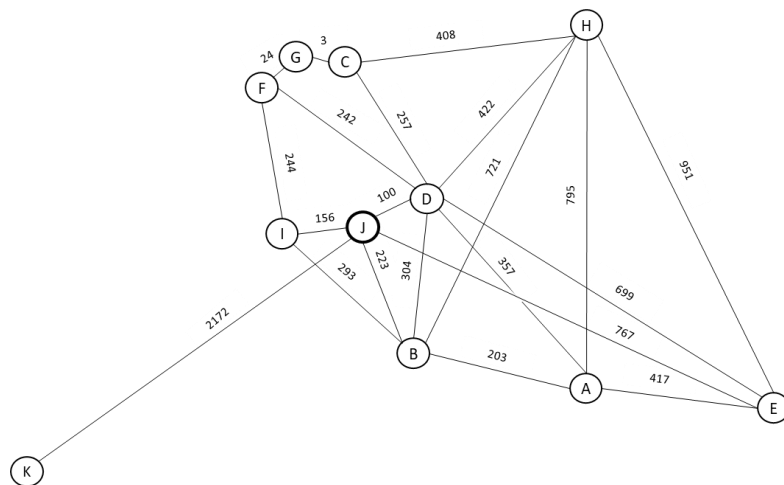


Figura 13 – Grafo com distâncias das localizações

Utilizando o Problema do Caixeiro viajante e aplicando a Heurística do Vizinho Mais Próximo, a qual se pode encontrar no ponto 2.1.2 a explicação e a sua aplicação prática, obtém-se a solução inicial do estado atual.

Seguindo todos os pressupostos da heurística, encontram-se na Tabela 8 os vértices determinados, dando como solução o caminho O(J) - D - I - F - G - C - H - E - A - B - O(J), com um total de 2797 km percorridos. Há que acrescentar a este valor o percurso entre a empresa X e o centro gravítico do transportador local, na Alemanha, o ponto O (J). Sendo este O(K) - J - O(K), com um total 4344 km. A soma dos dois percursos totaliza 7141 km.

Tabela 8 – Tabela de distâncias entre os pontos, realçando as distâncias para a construção da rota

	O (J)	A	B	C	D	E	F	G	H	I
O (J)		349	223	222	100	767	201	219	525	156
A	349		203	562	357	417	541	559	795	465
B	223	203		429	304	611	408	426	721	293
C	222	562	429		257	899	27	3	408	297
D	100	357	304	257		699	242	260	422	224
E	767	417	611	899	699		883	901	951	837
F	201	541	408	27	242	883		24	407	244
G	219	559	426	3	260	901	24		405	294
H	525	795	721	408	422	951	407	405		615
I	156	465	293	297	224	837	244	294	615	

Considerando que a empresa encerra uma semana por ano, ou seja, labora 51 semanas por ano, os quilómetros percorridos, 0,24 € é o custo por quilometro a obtido nos cálculos da solução inicial e será considerado para o cálculo das novas soluções na utilização dos diferentes métodos, onde se poderá verificar se existe, ou não, uma otimização do custo (Tabela 9).

Tabela 9 – Obtenção do custo por Quilómetro

	Custo	sem.	km
€	89 000,00		
€	1 745,10	51	
€	0,24		7141

3.3. Aplicação das Heurísticas e Algoritmos

Nos pontos seguintes, aplicar-se-á diferentes heurísticas com o intuito de se verificar a existências, ou não, de uma otimização no custo total do circuito.

Da mesma forma que no ponto anterior, iniciar-se-á com a aplicação do método do Problema do Caixeiro Viajante, com a heurística mais simples do Vizinho Mais Próximo, obtendo-se assim o estado inicial do novo cenário, com a recolha de mercadoria nos A, B, C, D, E, F, G, H, I e entrega no ponto J (O), que representa a localização da empresa X (Figura 14).



Figura 14 – Mapa da distribuição geográfica dos fornecedores e da Empresa X
Fonte: Google Maps

Na Figura 15 pode encontrar-se todos esses pontos do mapa representados num grafo, com as respetivas distâncias.

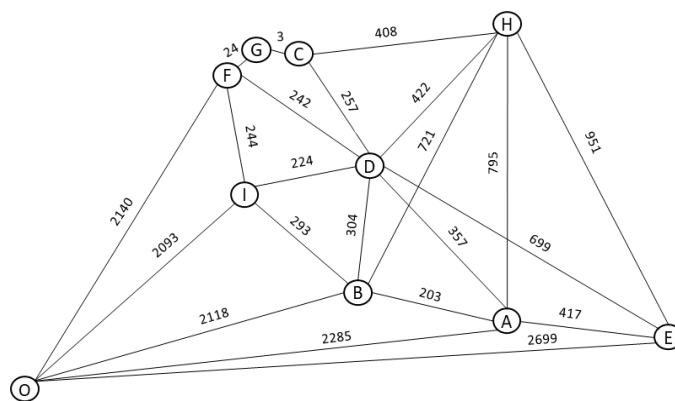


Figura 15 – Grafo com distâncias das localizações, fornecedores e Empresa X

Neste estudo, a aplicação destes métodos tem um objetivo puramente com acadêmico, daí que, não foram apurados, nem considerados, outros custos diretos e indiretos, tais como, existência de portagens, estado das vias, diferentes capacidades dos veículos, consumos de combustível por quilómetro, peso da carga, etc. Como é evidente, num contexto real, todos estes custos devem ser considerados para que esta ferramenta sirva de apoio à tomada de decisão por parte do decisor.

3.3.1. Problema Caixeiro Viajante (*Traveling salesman problem*)

Como vimos anteriormente, um problema do Caixeiro Viajante caracteriza-se por numa rede, a origem e o destino são o mesmo ponto. Sendo que, um determinado conjunto de pontos (clientes/fornecedores), sejam visitados de forma sequencial, uma única vez, regressando ao ponto de partida, com o objetivo de minimizar os custos totais (Carvalho, 2010). Para a resolução da definição de uma rota, no caso de estudo em questão, através do Problema do Caixeiro Viajante, utilizar-se-á **Heurística do Vizinho Mais Próximo**.

Segundo Goldgard & Luna (2005), a utilização desta heurística, após definição do ponto de partida no grafo, vértice inicial, que pela sua característica miópica, insere-se na solução o vértice vizinho que apresente um menor custo, de forma sucessiva até não existirem no grafo vértices por visitar e se obtenha um caminho hamiltoniano estruturado, ou seja, que passe por todos os vértices com o menor custo.

Esta heurística permite obter uma solução ótima local, que serve como, numa utilização de meta-heurísticas, de solução inicial e passível de ser melhorada (Arenales *et al.* 2015)

Assim, tendo em conta as localizações dos fornecedores no mapa, foi elaborada a Tabela 10 de distâncias, quer do ponto de origem a cada fornecedor, quer entre todos eles.

Tabela 10 – Tabela de distâncias entre as localizações da origem (J) e os fornecedores

	O	A	B	C	D	E	F	G	H	I
O		2285	2118	2179	2275	2699	2140	2179	2497	2093
A	2285		203	562	357	417	541	559	795	465
B	2118	203		429	304	611	408	426	721	293
C	2179	562	429		257	899	27	3	408	297
D	2275	357	304	257		699	242	260	422	224
E	2699	417	611	899	699		883	901	951	837
F	2140	541	408	27	242	883		24	407	244
G	2179	559	426	3	260	901	24		405	294
H	2497	795	721	408	422	951	407	405		615
I	2093	465	293	297	224	837	244	294	615	

Segundo Araripe (2017), a aplicação desta heurística na resolução de um problema do Caixeiro Viajante assenta em três passos:

1. Começar o caminho num qualquer vértice.
2. Encontrar o vértice mais próximo do último, e que não pertença ainda ao caminho, adicionando-o no final do caminho em formação.
3. Repetir o passo 2 para todos os vértices não pertencentes ao caminho, fechando a rota com a ligação do último vértice ao primeiro.

Seguindo os pressupostos mencionados, começamos por definir o vértice inicial como sendo o ponto J (O, origem) e em seguida procuramos na tabela acima o vértice mais próximo deste. Neste caso o ponto com menos distancia é o ponto I.

Na interação seguinte, efetua-se o mesmo procedimento, ou seja, procura-se o ponto que apresente uma maior proximidade do vértice I, que é o ponto D. Em termos gráficos, pode observar-se a evolução da formação da rota na Figura 16.

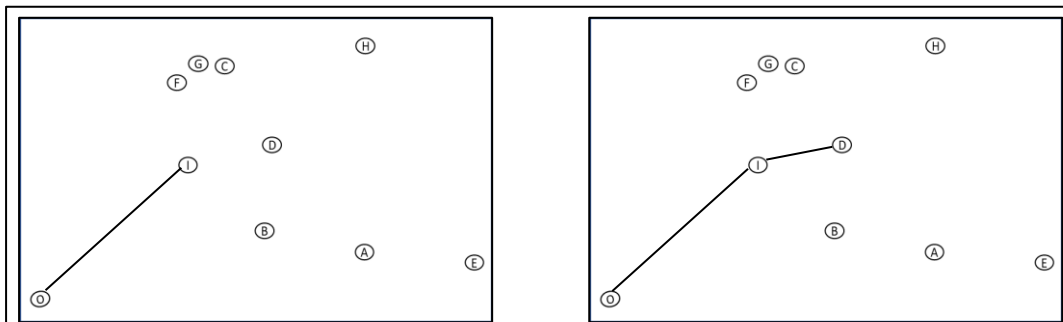


Figura 16 – Evolução da construção da rota em função da maior proximidade do nodo seguinte

O passo 3 da resolução, passa então por efetuar todas as iterações de todos os vértices mais próximos do seu antecessor, até que não se encontrem vértices fora da rota. Neste caso em resolução, torna-se mais fácil utilizar a Tabela 11 e identificar de forma mais fácil a proximidade entre os vértices e posteriormente efetuar as ligações no grafo.

Tabela 11 – Tabela de distâncias entre as localizações já com a pontos (nodos) selecionados

	O	A	B	C	D	E	F	G	H	I
O		2285	2118	2179	2275	2699	2140	2179	2497	2093
A	2285		203	562	357	417	541	559	795	465
B	2118	203		429	304	611	408	426	721	293
C	2179	562	429		257	899	27	3	408	297
D	2275	357	304	257		699	242	260	422	224
E	2699	417	611	899	699		883	901	951	837
F	2140	541	408	27	242	883		24	407	244
G	2179	559	426	3	260	901	24		405	294
H	2497	795	721	408	422	951	407	405		615
I	2093	465	293	297	224	837	244	294	615	

A rota obtida é O–I–D–F–G–C–H–B–A–E–O, representada no grafo da Figura 17, com um total de 7034 quilómetros de percurso. Pegando no valor de referência para o custo por quilómetro, de 0,24€, obtido na Tabela 9, o custo total desta rota é de 86.096,16€.

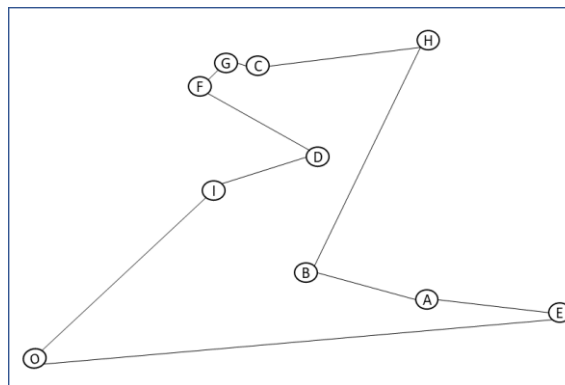


Figura 17 – Grafo com a rota obtida, heurística Vizinho Mais Próximo

3.3.2. VRP (Vehicle Routing Problem) - Heurística Clarke & Wright

Tal como noutros métodos de definição de rotas, o objetivo deste é “gerar roteiros que respeitem as restrições de tempo e de capacidade, mas visando, ao mesmo tempo, minimizar a distância total percorrida pela frota.” (Novaes, 2007).

Tal como referido para o cálculo do método no ponto anterior, não se está a considerar qualquer tipo de restrições, unicamente verificar a melhoria, ou não, obtida em cada um dos métodos na minimização das distâncias a percorrer no grafo e o, conseqüentemente, impacto nos custos da operação.

Tendo por base a tabela das distância **Tabela 10** entre todos os nodos, o primeiro passo é de se determinar e elaborar a tabela das poupanças (**Tabela 12**), com o valor da poupança entre todos os pares.

Tabela 12 – Tabela das Poupanças

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A		4200	3902	4203	4567	3884	3905	3987	3913
B			3868	4089	4206	3850	3871	3894	3918
C				4197	3979	4292	4355	4268	3975
D					4275	4173	4194	4350	4144
E						3956	3977	4245	3955
F							4295	4230	3989
G								4271	3978
H									3975
I									

Todos os valores foram obtidos através a aplicação da seguinte formula:

$$2 (D_{OA} + D_{OB}) - (D_{OA} + D_{AB} - D_{BO}) = D_{OA} + D_{OB} - D_{AB}$$

Para a identificação de quais os pares que apresentam maior poupança, todos os valores são ordenados numa lista/tabela por ordem decrescente. Esta ação permite facilitar a construção da rota, ao selecionar-se os pares que gera maiores poupanças de forma sequencial e que tenham ligação com o nodo anterior.

Veja-se então, como os valores calculados na **Tabela 12**, se apresentam ordenados por ordem decrescente (**Tabela 13**). Observa-se que o par AE é aquele que apresente a maior poupança, sendo automaticamente o primeiro selecionado. Cria assim a rota inicial O–A–E–O.

De seguida, consulta-se a tabela e procura-se um par que possa ser incorporado nesta rota inicial, ou com ligação a A ou a E. O par que obedece os requisitos é o DE e a rota passa a ser O–A–E–D–O.

Tabela 13 – Lista das Poupanças ordenadas por ordem decrescente

1	AE	4567		FH	4230	8	FI	3989		BI	3918
5	CG	4355		BE	4206		AH	3987		AI	3913
3	DH	4350		AD	4203		CE	3979		AG	3905
	FG	4295	7	AB	4200		GI	3978		AC	3902
6	CF	4292		CD	4197		EG	3977		BH	3894
2	DE	4275		DG	4194		CI	3975		AF	3884
4	GH	4271		DF	4173		HI	3975		BG	3871
	CH	4268		DI	4144		EF	3956		BC	3868
	EH	4245		BD	4089		EI	3955		BF	3850

Prossegue-se da mesma forma para os restantes pares até todos os nodos se encontrem ligados na rede, conforme a ordem que se vai obtendo pela ligação com o par já existente na rota. Na Figura 18 – Ligação dos pares segunda Lista de Poupanças, vêm-se todas as ligações conseguidas até à rota final. Ao chegar-se à última iteração, número 8, a rota que maior poupança gerou foi: O-B-A-E-D-H-G-C-F-I-O.

- 1 o-(a-e)-o
- 2 o-(a-e)-(e-d)-o
- 3 o-(a-e)-(e-d)-(d-h)-o
- 4 o-(a-e)-(e-d)-(d-h)-(h-g)-o
- 5 o-(a-e)-(e-d)-(d-h)-(h-g)-(g-c)-o
- 6 o-(a-e)-(e-d)-(d-h)-(h-g)-(g-c)-(c-f)-o
- 7 o-(b-a)-(a-e)-(e-d)-(d-h)-(h-g)-(g-c)-(c-f)-o
- 8 o-(b-a)-(a-e)-(e-d)-(d-h)-(h-g)-(g-c)-(c-f)-(f-i)-o

Figura 18 – Ligação dos pares segunda Lista de Poupanças

Relativamente à sua representação no grafo (Figura 19), observa-se uma diferença de percurso, comparativamente com a conseguida na heurística anterior, Vizinho Mais Próximo, bem como os resultados obtidos, no que toca aos custos da operação. Com o método *Clarke & Wright*, estes reduzem dos 86.096,16€, para os 81.163,44€ por via do menor número de quilómetros percorridos, 6631.

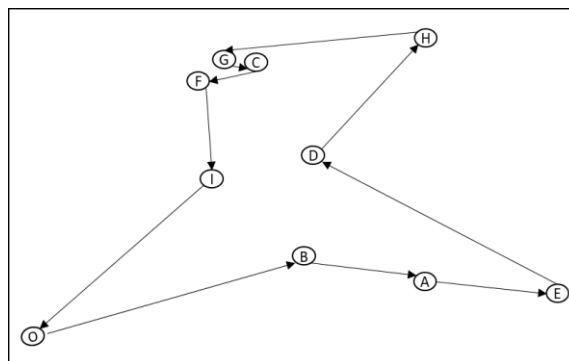


Figura 19 - Grafo com a rota obtida, heurística *Clarke & Wright*

Conclusão

O setor dos transportes representa uma grande fatia dos custos logísticos de uma organização, sendo inevitável a necessidade de se olhar para este setor com particular atenção. Devendo-se, portanto, considerar todas as possibilidades na escolha do modo de transporte, no meio de transporte, com um planeamento de rotas maximizado e, até mesmo, a possibilidade de externalização dos serviços, sempre com o intuito da minimização do custo total da operação.

Uma boa gestão de transportes pode trazer grandes benefícios numa organização, quer financeiros, pela evidente redução de custos, quer por via do aumento de competitividade, agilidade e flexibilidade da sua rede de transportes. Nesse ponto, as regras impostas pelos *Incoterms* trazem clareza quanto à responsabilidade do transporte, tanto das mercadorias transportadas, como dos custos a elas associados, tal como seguros e impostos aduaneiros quando aplicados. É também com base na definição do *Incoterm* escolhido que se pode transferir para os compradores o controlo do transporte da mercadoria, podendo assim reduzir o tempo de trânsito, custos de inventário e os próprios custos de transporte.

Dentro de tudo o que se deve ponderar, por parte do responsável e decisor, na tomada de decisão do tipo de transporte a utilizar, o planeamento de rotas aparece como uma temática que torna possível definir e/ou otimizar um caminho/trajeto que traga essas mais valias para a organização. Neste campo, existem vários métodos e heurísticas que permitem obter uma definição da rota de forma simples, considerada comumente por estado inicial da rota e, com a aplicação de outras heurísticas ou meta-heurísticas, capazes de melhorar os resultados alcançados inicialmente.

Neste trabalho, o Caso de Estudo é baseado numa situação real, mas para utilização puramente académica dado que não são tidas em consideração todas as restrições inerentes a uma operação deste tipo, bem como, não foram apurados nem considerados outros custos diretos e indiretos. O modo de transporte e o meio de transporte estavam bem identificados, terrestre e rodoviário, respetivamente, e o objetivo prendia-se em demonstrar que seria possível, com a aplicação de métodos diferentes, melhorar a rota, de forma a que fosse possível eliminar um *player* na cadeia, melhorar a rota e reduzir o custo total da operação.

Dessa forma, foi utilizado o método do Problema do Caixeiro Viajante, através da heurística do Vizinho mais Próximo, como forma de definir uma rota inicial que permitisse

passar por todos os fornecedores para recolha da mercadoria, já com a eliminação de um *player* no circuito. Mesmo assim, em relação ao estado inicial em que o Caso de Estudo é apresentado, verifica-se uma redução no custo. Com a aplicação da heurística *Clarke & Wright*, a poupança alcançada é ainda mais acentuada, comprovando-se assim a otimização da rota, com menos quilómetros percorridos e, conseqüentemente, com a redução dos custos totais.

Na situação real, e como a empresa X não tem transportes próprios, o estudo da rota foi entregue a empresas transportadoras que podem ou não efetuar o transporte com a utilização de camiões em exclusivo para o circuito, ou a utilização otimizada em grupagem com outros pontos de recolha que tenham perto dos fornecedores da empresa X. Com essa análise da empresa transportadora, deste caso de estudo em concreto, o custo real foi reduzido dos cerca de 89.000,00€ para os 56.000,00€.

Bibliografia

A importância da multimodalidade de transporte como fator de competitividade – Estudo de Caso na Indústria Siderúrgica — Brasil Escola. (sem data). Monografias Brasil Escola. Obtido em <https://monografias.brasescola.uol.com.br/engenharia/a-importanciamultimodalidade-transporte-como-fator-competitividade.htm>

ARARIPE, R. B., & KLOECNER, N. V. da R (2017). Problema do caixeiro viajante (PCV) aplicado a otimização de roteiros de veículos de transporte rodoviário de uma distribuidora de óleo lubrificante a granel em Fortaleza e região metropolitana. *Revista de Engenharia da UNIF 1* (1): 137–85. Obtido em <https://periodicos.uni7.edu.br/index.php/revista-de-engenharia/article/view/526>.

ALMEIDA, Ricardo J. C. (2013). *Implementação de um Modelo de Decisão sobre o Método de Transporte de Matéria-prima*. Tese de Mestrado da Universidade do Minho, Escola de Engenharia, 90. Obtido 12 de Janeiro de 2020. https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/27243/1/RicardoAlmeida55950_Dissertacao_MIEGI.pdf.

BALLOU, R. H. (2008). *Business Logistics/Supply Chain Management and Logware CD Package*. Pearson Education, Limited.

BARROS, P., MELO, R. B., & Estender, A. C. (2013) Gestão da Tecnologia para a Competitividade. *Visão Sistêmica da Cadeia Logística: como a Cadeia Logística Pode Ajudar na Satisfação do Cliente Final*. Obtido em <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos13/771836.pdf>

BECCENERI, J. C., RAMOS, F. M., VELHO, H. F. C. (2008). *Meta-Heurísticas e Otimização Combinatória: Aplicações Em Problemas Ambientais*. Obtido 17 de Abril de 2020. https://www.researchgate.net/publication/43652844_Meta-Heurísticas_e_Otimizacao_Combinatoria_Aplicacoes_em_Problemas_Ambientais.

BOWERSOX, Donald J., CLOSS, D J. (2001). *Logística Empresarial: O processo de integração da cadeia de abastecimento*. Editora Atlas.

BOENTE, A. N P, et al. (2016). A IMPORTÂNCIA DA INTERMODALIDADE/MULTIMODALIDADE NO TRANSPORTE DE CARGAS NO BRASIL: USO DA LÓGICA FUZZY COMO FERRAMENTA DE AFERIÇÃO.», 14. Obtido em https://www.inovarse.org/sites/default/files/T16_370.pdf

BREMENKAMP, Leonardo H. et al. (2016) APLICAÇÃO DA HEURÍSTICA DE CLARKE & WRIGHT PARA UM PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS HOMOGÊNEOS EM UMA DISTRIBUIDORA. 14. Obtido em http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_226_319_28857.pdf.

CALADO, F. das M., & Ladeira, A. P. (2011). PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE: UM ESTUDO COMPARATIVO DE TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL. *exacta* 4 (1), Article 1. Obtido em <https://doi.org/10.18674/exacta.v4i1.304>.

CALDEIRA, Jorge (2012). *100 Indicadores da Gestão – Key Performance Indicators*. Actual Editora

CARVALHO, José C. (2010). *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento*. Lisboa: Edições Sílabo.

CARVALHO, José C. (2004) *A Lógica da Logística*. Lisboa: Edições Sílabo.

COLAVITE, A S. & Konishi F. (2015). A matriz do transporte no Brasil: uma análise comparativa para a competitividade. Obtido em 20 de Novembro de 2020. <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/802267.pdf>.

CHOPA, S., & MEINDL, P. (2015) *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. (6ª ed). Boston: Pearson.

DURBACH, I. N., et al. (2020). Fast and frugal heuristics for portfolio decisions with positive project interactions. *Decision Support Systems*, 138, 113399. Obtido em <https://doi.org/10.1016/j.dss.2020.113399>

FORTUNATO, E., FONTUL, S., MACEDO, A. L. (2009). *Investigação sobre a gestão e organização de grandes projectos de infra-estruturas de transporte na Europa*. LNEC

FREITAS, Beatriz D. et al. (2014). PROGRAMAÇÃO DISTRIBUIDA PARA OTIMIZAÇÃO DE HEURÍSTICA ILS APLICADA A PROBLEMAS DO CAIXEIRO VIAJANTE. LINKSCIENCEPLACE - *Interdisciplinary Scientific Journal* 1 (1). Obtido em <http://revista.srvroot.com/linkscienceplace/index.php/linkscienceplace/article/view/11>.

GAMA DOS SANTOS, L. D. P., MACHADO, W. R. B., & SANTOS, P. V. S. (2019) Aplicação do método de Clarke e Wright na resolução de problemas de roteirização: um estudo de caso - *Revista Gestão Industrial* 15 (3). Obtido em <https://doi.org/10.3895/gi.v15n3.8251>.

GRAZIA SPERANZA, M. (2018) Trends in transportation and logistics. *European Journal of Operational Research*, 264(3), 830–836. *Revista Gestão Industrial* 15 (3). Obtido em <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.08.032>

ICC releases Incoterms® 2020. (2019, Setembro 9). *ICC - International Chamber of Commerce*. Obtido em <https://iccwbo.org/media-wall/news-speeches/icc-releases-incoterms-2020/>.

Incoterms® rules history (sem data). *ICC - International Chamber of Commerce* (blog). Obtido 3 de Dezembro de 2019. <https://iccwbo.org/resources-for-business/incoterms-rules/incoterms-ruleshistory/>.

Incoterms 1990 - [superseded, current Incoterms is Incoterms 2000]. (sem data). Obtido 6 de Janeiro de 2020. <https://www.jus.uio.no/lm/icc.incoterms.1990/doc.html>.

Incoterms 2020 (2019a, Março 29). *ShipHub*. Obtido em <https://www.shiphub.co/incoterms-2020/>.

Incoterms 2020: Conheça as Principais Alterações - Blog | Rangel. (2019b, Outubro 31). *Blog Rangel*. Obtido em <https://www.rangel.com/pt/blog/incoterms-2020-principais-alteracoes/>.

KEEDI, S. (2002). *Transportes, unitização e seguros internacionais de carga: prática e exercícios*. Editora Aduaneiras, 2002.

Kuehne + Nagel: Incoterms 2020. (sem data). Obtido 6 de Janeiro de 2020. https://www.kn-portal.com/incoterms_2020/.

KHERBASH, O., & MOCAN, M. L. (2015) A Review of Logistics and Transport Sector as a Factor of Globalization. *Procedia Economics and Finance*, 27, 42–47. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00969-7](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00969-7)

LAVOR, A. K. (2019, Outubro 6). Incoterms 2020: as mudanças que aconteceram. – *IntradeBlog*. Obtido a 04 de maio de 2020. <https://blog.intradebook.com/pt/incoterms-2020-as-mudancas/>.

LIMA Jr., O. F. (2016). Ensaio sobre os nós das redes logísticas - *Journal of Transport Literature* 10 (4): 35–39. Obtido em <https://doi.org/10.1590/2238-1031.jtl.v10n4a7>.

LEITE, Cesar E. et al. (2016, Setembro 29) ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS ENTRE OS MEIOS DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO E FERROVIÁRIO. Obtido em https://www.researchgate.net/profile/Cesar_Leite2/publication/314197441_ANALISE_CO_MPARATIVA_DE_CUSTOS_ENTRE_OS_MEIOS_DE_TRANSPORTE_RODOVIARIO_E_FERROVIARIO/links/58b97812aca27261e51d15f2/ANALISE-COMPARATIVA-DE-CUSTOS-ENTRE-OS-MEIOS-DE-TRANSPORTE-RODOVIARIO-E-FERROVIARIO.pdf

MONTEIRO, Gabriel de A. et al. (2018). O PROBLEMA DO CAMINHO MAIS CURTO APLICADO EM UMA DISTRIBUIÇÃO 9. Obtido em https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/1012/o/O_PROBLEMA_DO_CAMINHO MAIS_CURTO_APLICADO_EM_UMA_DISTRIBUIDORA.pdf

NEVES, Eduarda A., et al. (2018 Novembro 15). *Modais de Transporte: Análise do panorama atual brasileiro e um estudo bibliométrico*. ENEGEP 2018 - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, MACEIO/AL - BRASIL. Obtido em https://doi.org/10.14488/ENEGEP2018_TN_STP_258_481_35131.

PINHEIRO, C. C. (2017). *Abordagens Heurísticas para Roteirização em uma Empresa de outsourcing de Impressão*. Tese de Bacharelato da Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico de Joinville, Curso de Engenharia de Transportes e Logística, 78. Obtido 13 de Outubro de 2020 <https://core.ac.uk/download/pdf/84616344.pdf>

PORDATA - Transportes. (sem data). Obtido 12 de Novembro de 2019. <https://www.pordata.pt/Tema/Portugal/Transportes-87>.

RETTO UHLMANN, I., et al. (2017, Outubro 4). *Multimodalidade e Intermodalidade como Estratégia Logística Empresarial*. Obtido em https://www.researchgate.net/publication/328449934_Multimodalidade_e_Intermodalidade_como_Estrategia_Logistica_Empresarial

ROSA, A. (2007). *Gestão do Transporte na Logística de Distribuição Física: Uma Análise Da Minimização Do Custo Operacional*. Tese Mestrado da Universidade de Taubaté, São Paulo, 88. Obtido 15 de Abril de 2020. https://www.academia.edu/6414175/GEST%C3%83O_DO_TRANSPORTE_NA_LOG%C3%8DSTICA_DE_DISTRIBUI%C3%87%C3%83O_F%C3%8DSICA_uma_an%C3%A1lise_da_minimiza%C3%A7%C3%A3o_do_custo_operacional

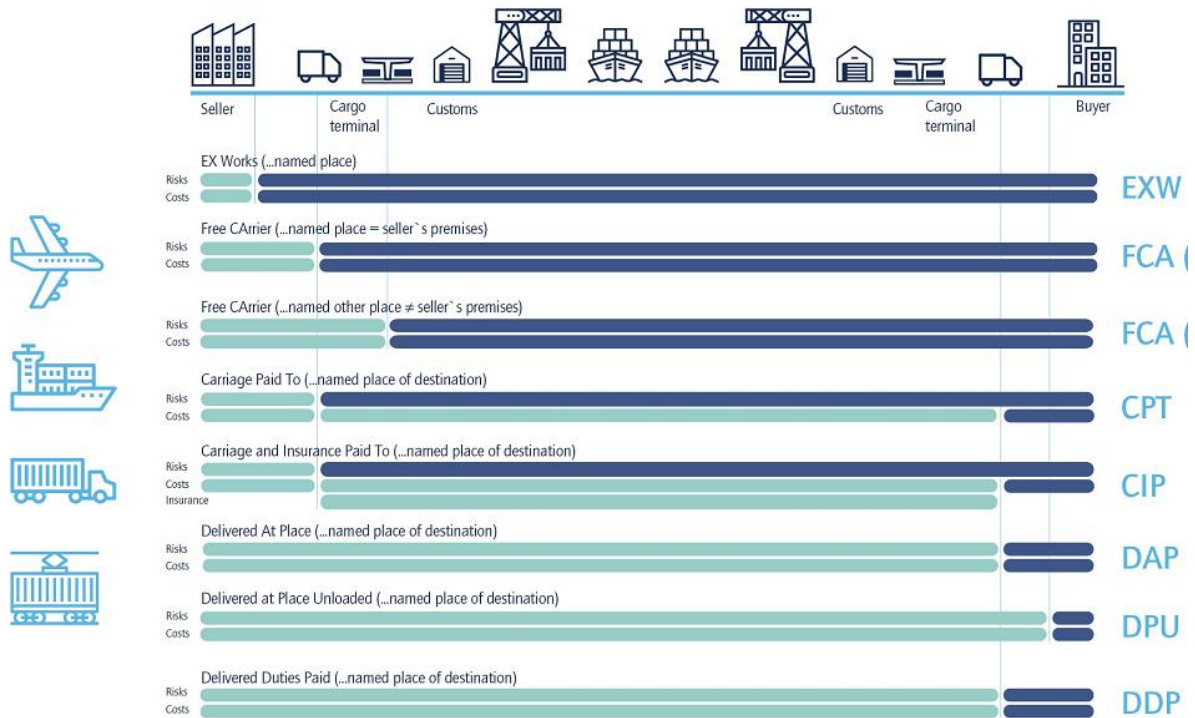
RODRIGUES, J-P, COMTOIS, C., & SLACK, B (2013). *The Geography of Transport Systems*. Routledge.

SELEME, Robson, et al. (2012). Avaliação dos Modais de Transporte Rodoviário e Ferroviário de *Commodities* Agrícolas (soja) da Região Oeste do Estado do Paraná ao Porto de Paranaguá. *Artigo Modais de transporte — ENEGEP* [Educação]. Obtido em <https://pt.slideshare.net/evanielly/enegep2012-tn-stp15791520750>.

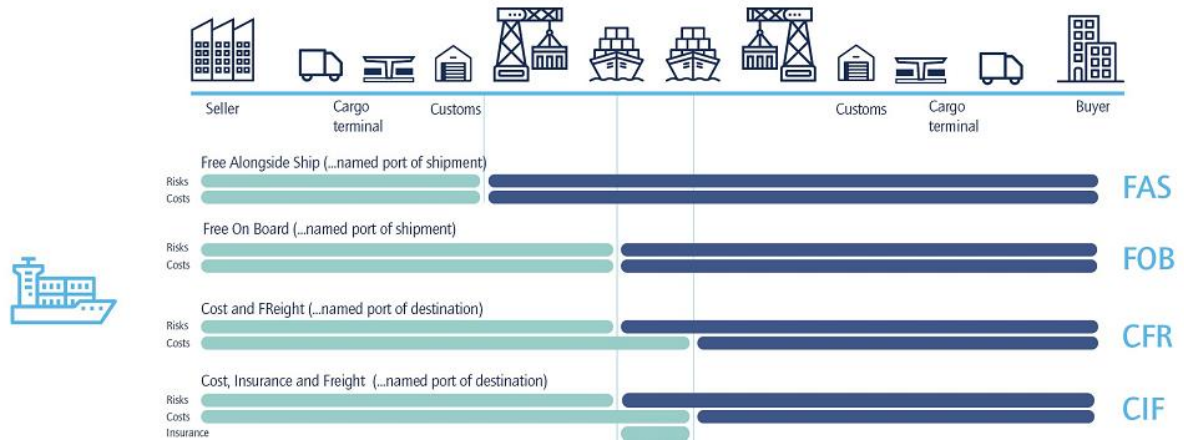
Transportes valem atualmente 1,1% do PIB nacional. (sem data). Em APAT – Associação dos Transportes de Portugal. Obtido a 12 de novembro de 2019 <https://apat.pt/pt/noticia/1297/transitarios-valem-actualmente-11-do-pib-nacional/>.

VAN ENGELEN, M., et al. (2018). Enhancing flexible transport services with demand-anticipatory insertion heuristics. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 110, 110-121. Obtido em <http://doi.org/10.1016/j.tre.2017.12.015>

ANEXOS



Rules for sea and inland waterway transport



Anexo I - Tabela dos Incoterms 2020

Fonte: <https://home.kuehne-nagel.com/-/knowledge/incoterms>