

**ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS OPERACIONAIS E
AMBIENTAIS DO *TRUCK PLATOONING* NO
TRANSPORTE DE MERCADORIAS**

Ricardo Jorge Oliveira Pereira

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em

Engenharia Civil

Orientador: Doutor Vasco Domingos Moreira Lopes Miranda dos Reis

Orientadora: Prof.^a Doutora Maria do Rosário Maurício Ribeiro Macário

Júri

Presidente: Prof. Doutor João Torres de Quinhones Levy

Orientador: Doutor Vasco Domingos Moreira Lopes Miranda dos Reis

Vogal: Prof. Amílcar José Martins Arantes

Maio 2017

AGRADECIMENTOS

A realização desta Dissertação, apesar de todo o esforço e dedicação investidos por mim no seu desenvolvimento, não teria sido possível sem o apoio de diversas pessoas.

Em primeiro lugar, quero agradecer sinceramente à minha família – aos meus pais e ao meu irmão – por todo o esforço que fizeram ao longo de toda a minha vida, para que eu chegasse onde estou hoje. A eles devo tudo, não existem palavras suficientes para expressar a minha gratidão.

Gostaria de agradecer ao meu orientador, o Professor Doutor Vasco Reis, por toda a disponibilidade demonstrada ao longo destes meses, pela motivação e conhecimentos transmitidos.

Ao Duarte Amorim da Cunha, agradeço pela sua ajuda essencial no desenvolvimento do modelo de optimização utilizado neste trabalho.

A empresa Luís Simões prestou um contributo essencial ao disponibilizar os dados que serviram de base ao caso de estudo desta Dissertação. Quero agradecer a oportunidade que me foi concedida, bem como a disponibilidade e apoio demonstrados, em especial ao Paulo Guimarães, António Fernandes e Tânia Boavida.

Fora do âmbito deste trabalho, gostaria de expressar o meu agradecimento ao Professor Doutor Paulo Teixeira pelo seu apoio, e pela amplitude e rigor dos conteúdos transmitidos na unidade curricular de Engenharia Ferroviária, aprofundando a minha paixão pelo sector. Foi, para mim, inspirador ser seu aluno.

Agradecer, ainda, aos meus amigos David e Rafael, pelo companheirismo ao longo destes anos. O seu apoio foi indispensável durante esta jornada.

Por último, mas não menos importante, quero dedicar este trabalho ao meu avô. Cumpri, finalmente, o teu sonho. Onde quer que estejas, sei que estás orgulhoso de mim.

ABSTRACT

Despite the focus of the media is on the latest advances in what concerns to autonomous passenger cars, relevant work has been developed at the level of autonomous vehicles applied in freight transportation and its impacts on the Logistics industry. With road transport being the main responsible for the pollutant emissions from the Transport sector, plus the goals set by the European Commission with a view to its drastic reduction, more efficient solutions are meant to be found.

In this context, the study presented in this work intends to explore the benefits of introducing autonomous trucks, particularly in the form of platooning, on a set of daily routes across Portugal, of the main Portuguese logistics operator Luís Simões. On an average day, the company serves more than a thousand customers from several warehouses, in Portugal. Substantial route segments overlap on the highways, which indicates potential for platooning. Routinely, platooning has been analysed in long routes spanning several hundreds of kilometres. This is not the case of Portugal, where the average length is below 300 kms. Hence, this is an interesting case study to assess the potentials of truck platooning.

To that end, a route optimisation algorithm will be used to determine the routes paths that minimise the network transport costs considering the benefits of truck platooning. Through the methodology used, the author will quantify efficiency gains in terms of fuel consumption and pollutant emissions produced along the routes, as well as assess the viability of truck platooning over short distances.

KEYWORDS

Road transport; autonomous vehicles; truck platooning; vehicle routing problem; route optimization.

RESUMO

Apesar do foco dos *media* se encontrar nos últimos avanços no que respeita aos veículos autónomos de passageiros, trabalho relevante tem sido desenvolvido ao nível dos veículos autónomos aplicados ao transporte de mercadorias e ao seu impacto na indústria da Logística. Com o transporte rodoviário a representar o principal responsável pelas emissões poluentes resultantes do sector dos Transportes, aliado às metas definidas pela Comissão Europeia com vista à sua drástica redução, é premente a descoberta de soluções mais eficientes.

Neste contexto, o estudo apresentado neste trabalho pretende explorar os benefícios da introdução de camiões autónomos, em particular na forma de *truck platooning*, num conjunto de rotas diárias ao longo de Portugal do maior operador logístico português, a Luís Simões. Diariamente, a empresa serve, em média, mais de mil clientes em território nacional a partir de vários armazéns. Uma quantidade significativa de segmentos dessas rotas sobrepõe-se nas autoestradas, o que indica um potencial para a realização de *platooning*. Frequentemente, o *platooning* tem sido analisado em rotas longas, que se estendem por centenas de quilómetros. Este não é o caso de Portugal, onde o comprimento médio das rotas se encontra abaixo dos 300 kms. Desta forma, este representa um interessante caso de estudo para avaliar o potencial do *truck platooning*.

Para isso, um algoritmo de optimização de rotas será utilizado para determinar o conjunto de rotas que minimiza o custo da rede de transporte, considerando os benefícios do *truck platooning*. Através da metodologia aplicada, o autor irá quantificar os ganhos de eficiência em termos do consumo de combustível e das emissões poluentes produzidas ao longo das rotas, bem como avaliar a viabilidade do *truck platooning* em curtas distâncias.

PALAVRAS-CHAVE

Transporte rodoviário; veículos autónomos; truck platooning; vehicle routing problem; optimização de rotas.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
ABSTRACT	iii
RESUMO	v
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE QUADROS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Motivação e Enquadramento	1
1.2. Cadeia de Abastecimento	2
1.3. Importância do transporte rodoviário de mercadorias	2
1.4. Contexto actual do transporte rodoviário	3
1.5. Previsão para a implementação de Veículos Autónomos	5
1.6. Aplicações actuais da automação	6
1.7. Objectivos	7
1.8. Metodologia e Estrutura da Dissertação	8
2. ESTADO DA ARTE: VEÍCULOS AUTÓNOMOS	9
2.1. Cronologia do desenvolvimento de Veículos Autónomos	9
2.2. Conceitos e definições	11
2.2.1. Terminologia dos Veículos Autónomos	11
2.2.2. Comunicações V2V e V2I	13
2.3. Legislação vigente	14
2.4. Soluções de automação existentes	19
2.4.1. Assistência à condução em autoestrada – Sistemas ADAS	19
2.4.2. <i>Truck Platooning</i>	22
2.5. Ganhos potenciais da utilização de Veículos Autónomos	26
2.6. Barreiras à implementação de Veículos Autónomos	31
2.7. Impactos na Cadeia de Abastecimento	35
2.8. Reflexão global sobre o Capítulo	40
3. REVISÃO DA LITERATURA: OPTIMIZAÇÃO DE ROTAS	43
3.1. O <i>Vehicle Routing Problem</i> (VRP)	43
3.2. Variantes ao VRP clássico	44
3.3. Métodos de resolução do VRP e suas variantes	46
3.3.1. Métodos exactos	46
3.3.2. Métodos heurísticos	46
3.4. Escolha do método	54
4. CASO DE ESTUDO: POTENCIAL DO <i>PLATOONING</i> NA REDE DE AUTOESTRADAS NACIONAL	55

4.1.	Caso de estudo: o Grupo Luís Simões	55
4.2.	Tratamento de dados e preparação do modelo	56
4.3.	Modelo de otimização.....	57
4.4.	Experiências e validação do modelo	62
4.5.	Apresentação dos resultados	62
4.6.	Análise dos resultados	64
5.	CONCLUSÕES	67
	REFERÊNCIAS	71
	ANEXO I – NÚMERO DE CAMIÕES REFERENTE A CADA ROTA.....	95
	ANEXO II – DISTÂNCIA PERCORRIDA EM CADA ROTA.....	97
	ANEXO III – MODELO DE OPTIMIZAÇÃO	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Carga transportada na UE (% do total ton-km) (adaptado de Eurostat, 2016).	3
Figura 2 – Emissões poluentes por sector de actividade (adaptado de Comissão Europeia, 2015b). ..	4
Figura 3 – Emissões poluentes por modo de transporte (adaptado de Comissão Europeia, 2015b)	4
Figura 4 – Etapas de implementação dos veículos autónomos (adaptado de Rosen, 2016).	5
Figura 5 – Metodologia de desenvolvimento da Dissertação.	8
Figura 6 – Cronologia de implementação de camiões autónomos na Europa.	20
Figura 7 – Implementação do <i>truck platooning</i> na Europa (adaptado de Janssen <i>et al.</i> , 2015).	24
Figura 8 – Exemplo de grafo não orientado (fonte: van Doremalen <i>et al.</i> , 2014).	44
Figura 9 – Exemplo de grafo orientado (fonte: van Doremalen <i>et al.</i> , 2014).	44
Figura 10 – Localidades iniciais das rotas	57
Figura 11 – Saídas das autoestradas adoptadas.	57
Figura 12 – Total de combustível consumido em cada Cenário.	65
Figura 13 – Custo total com combustível em cada Cenário.	65
Figura 14 – Total de emissões poluentes produzidas em cada Cenário.	66

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Níveis de automação (adaptado de SAE International, 2014).....	13
Quadro 2 – Legislação vigente em alguns Estados Membros da UE.....	17
Quadro 3 – Principais camiões autónomos testados.....	22
Quadro 4 – Redução do consumo de combustível com camiões autónomos/ <i>platooning</i>	29
Quadro 5 – Redução das emissões poluentes com camiões autónomos/ <i>platooning</i>	30
Quadro 6 – Impactos da introdução de camiões autónomos na Cadeia de Abastecimento.	38
Quadro 7 – Potenciais áreas de investigação relacionadas com camiões autónomos/ <i>platooning</i>	41
Quadro 8 – Modelos utilizados para resolução do VRP e suas variantes.	52
Quadro 9 – Resultados do Cenário 1.....	63
Quadro 10 – Resultados do Cenário 2.....	63
Quadro 11 – Resultados da abordagem teórica.	64

LISTA DE ABREVIATURAS

ACC – Adaptive Cruise Control

LKP – Lane Keeping Assist

AEB – Autonomous Emergency Braking

V2V – Sistemas de comunicação *Vehicle-to-Vehicle* (Veículo-Veículo)

V2I – Sistemas de comunicação *Vehicle-to-Infrastructure* (Veículo-Infraestrutura)

CACC – Cooperative Adaptive Cruise Control

NHTSA – National Highway Traffic Safety Administration

DARPA – Defense Advanced Research Projects Agency

ERTRAC – European Road Transport Research Advisory Council

SAE – Society of Automotive Engineers

EUA – Estados Unidos da América

ADAS – *Advanced Driver Assistance Systems* – Sistemas Avançados de Assistência ao Condutor

UE – União Europeia

CE – Comissão Europeia

TLN – Transport and Logistics Netherlands

TNO – Netherlands Organisation for Applied Scientific Research

ITS – *Intelligent Transportation Systems* – Sistemas Inteligentes de Transporte

C-ITS – *Cooperative Intelligent Transportation Systems* – Sistemas Inteligentes Cooperativos de Transporte

TEN-T – *Trans-European Transport Network* – Rede Transeuropeia de Transportes

GPS – Global Positioning Systems

INS – Inertial Navigation Systems

DATP – *Driver Assisted Truck Platooning*

LS – Grupo Luís Simões

COT – Centros Operacionais de Transportes

COL – Centros Operacionais de Logística

VRP – Vehicle Routing Problem

TSP – Traveling Salesman Problem

TDP – Truck Dispatching Problem

CVRP – Capacitated Vehicle Routing Problem

VRPTW – Vehicle Routing Problem with Time Windows

HFVRP – Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem

VRPPD – Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery

VRPB – Vehicle Routing Problem with Backhauls

PVRP – Periodic Vehicle Routing Problem

MDVRP – Multi Depot Vehicle Routing Problem

OVRP – Open Vehicle Routing Problem

TDVRP – Time-Dependent Vehicle Routing Problem

DCVRP – Distance-Constrained Vehicle Routing Problem

ENMC – Entidade Nacional para o Mercado de Combustíveis

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo encontra-se referido o contexto do desenvolvimento deste trabalho, bem como a sua relevância. Neste sentido, a motivação para a sua realização, o enquadramento ao tema, a metodologia utilizada e a estrutura deste documento serão apresentadas.

1.1. Motivação e Enquadramento

A realização desta Dissertação teve como principal motivação a premência na busca de novas soluções mais eficientes para o sistema de transportes, em particular o transporte rodoviário de mercadorias. A logística e o transporte, elementos constituintes da Cadeia de Abastecimento, assumem actualmente um papel preponderante na sociedade. O transporte rodoviário representa o modo de transporte mais solicitado para a movimentação de bens ao longo da cadeia. Contudo, existem ainda diversas ineficiências por colmatar, sendo que o advento dos veículos autónomos é visto como uma inovação que poderá ajudar a solucionar alguns destes problemas, nomeadamente através da utilização do denominado *truck platooning*.

Os últimos desenvolvimentos tecnológicos em matéria de veículos autónomos indicam que estes sejam o próximo passo revolucionário na área dos transportes, inovando completamente o *modus operandi* da mobilidade e da logística (Van Meldert & De Boeck, 2016).

A tecnologia utilizada nos veículos está a evoluir de forma bastante acelerada, o que se traduz na inclusão de cada vez mais funcionalidades automáticas quer em automóveis quer em camiões, como por exemplo os sistemas de apoio ao estacionamento e à travagem. Ao longo do tempo, os sistemas instalados nos veículos irão assumir cada vez mais tarefas da condução que, actualmente, pertencem ao condutor (European Union, 2016b). Os especialistas acreditam que os veículos autónomos serão implementados em primeiro lugar nas autoestradas, visto ser mais fácil prever as situações do tráfego, bem como pela sinalização existente e pela ausência de utilizadores vulneráveis, como peões ou ciclistas (In The Black, 2016a).

Embora a atenção dos *media* se encontre direccionada para o conceito de veículos autónomos aplicado ao transporte de passageiros, facto que contribui para a consciencialização e aceitação da opinião pública em relação a esta temática (Gitlin, 2016), cada vez mais entidades no mundo da Logística se interessam por esta tecnologia. Fabricantes de camiões, fornecedores, operadores logísticos e até mesmo *startups* – como a Uber e a Otto – se têm dedicado a investigar e desenvolver soluções para este tipo de veículos no transporte de mercadorias, assim como o impacto que estes possam ter no sector e na cadeia de abastecimento (Williams, 2014). Possivelmente, os veículos autónomos serão mesmo implementados em primeiro lugar no transporte de mercadorias dados os significativos

benefícios que estes trarão ao negócio das empresas, com uma expressão mais relevante comparativamente ao transporte individual (Bishop *et al.*, 2015).

1.2. Cadeia de Abastecimento

De acordo com CSCMP (2016), a Logística é o elemento constituinte da cadeia de abastecimento que abrange “o processo de planeamento, implementação e controlo de procedimentos para o transporte eficiente e eficaz e armazenamento de bens, incluindo serviços e informação relacionada, desde o ponto de origem até ao ponto de consumo, em conformidade com os requisitos do cliente”.

Nos dias de hoje é razoável afirmar que raros são os casos onde os bens são consumidos no mesmo local onde são produzidos. O elo de ligação essencial entre os vários elementos da cadeia de abastecimento é desempenhado pelo serviço de transporte, o qual constitui uma das principais funções da Logística. O transporte totaliza cerca de 30% dos custos totais de todas as actividades logísticas, aproximadamente o mesmo que os custos de armazenagem e inventário juntos (Sreenivas & Srinivas, 2008).

A implementação de um sistema de transporte bem planeado e desenvolvido cria as condições necessárias para uma logística mais eficiente, através da redução de custos operacionais e melhoria dos níveis de serviço oferecidos aos clientes. Uma gestão de custos eficiente por parte das empresas pode representar um factor competitivo diferenciador, num mercado cada vez mais globalizado e agressivo (Sreenivas & Srinivas, 2008).

1.3. Importância do transporte rodoviário de mercadorias

Actualmente, o modo rodoviário é responsável pelo transporte de, aproximadamente, 75% de toda a carga movimentada na União Europeia (UE) (ver Figura 1) (Eurostat, 2016), ao passo que nos EUA esta corresponde a cerca de 70% do total (Stewart, 2016). Nos países da UE, prevê-se que o volume de carga transportada aumente em cerca de 20% entre 2008 e 2025, não sendo expectáveis alterações relevantes na repartição modal dos vários modos de transporte (Mercedes-Benz, 2014). O domínio verificado neste modo de transporte deve-se à sua elevada flexibilidade e fiabilidade, nomeadamente pela possibilidade de transportar diferentes tipos de carga, elevada redundância da infraestrutura e realização de serviços *door-to-door*.

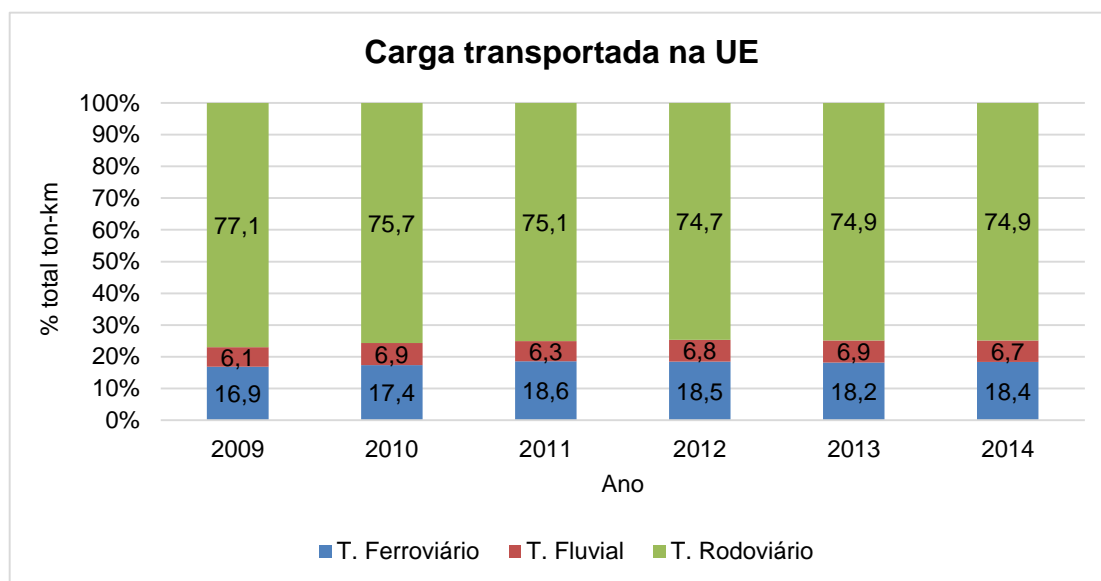


Figura 1 – Carga transportada na UE (% do total ton-km) (adaptado de Eurostat, 2016).

1.4. Contexto actual do transporte rodoviário

O sector dos transportes representa cerca de um terço do consumo total de energia nos 28 Estados Membros da UE (Agência Europeia do Ambiente, 2016c), totalizando o modo rodoviário 74% deste consumo (Agência Europeia do Ambiente, 2016a). Em 2014, o sector dos transportes representou aproximadamente um quarto (ver Figura 2) do total de emissões poluentes registadas em toda a UE (Agência Europeia do Ambiente, 2016b), com o transporte rodoviário responsável por mais de 70% destas emissões (ver Figura 3), afirmando-se, assim, como o modo de transporte que mais polui (Comissão Europeia, 2016c). No âmbito da eficiência energética e da melhoria da mobilidade, a Comissão Europeia (CE), no seu *White Paper*, lançou metas ambiciosas aplicadas ao sector dos transportes. Em particular estabeleceu a meta de, até 2050, reduzir em 60% as emissões de gases de efeito de estufa, em comparação aos níveis registados em 1990, sendo esperada uma contribuição significativa do modo rodoviário para esta redução (Comissão Europeia, 2011b). É, assim, imperativo a descoberta de novas soluções, mais eficientes energeticamente e que permitam uma mobilidade sustentável de pessoas e bens.

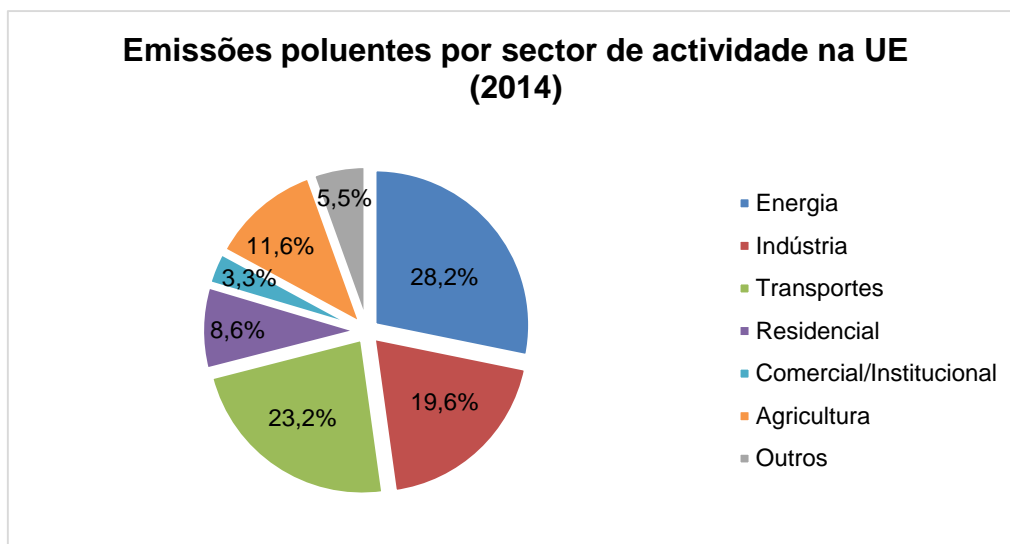


Figura 2 – Emissões poluentes por sector de actividade (adaptado de Comissão Europeia, 2015b).

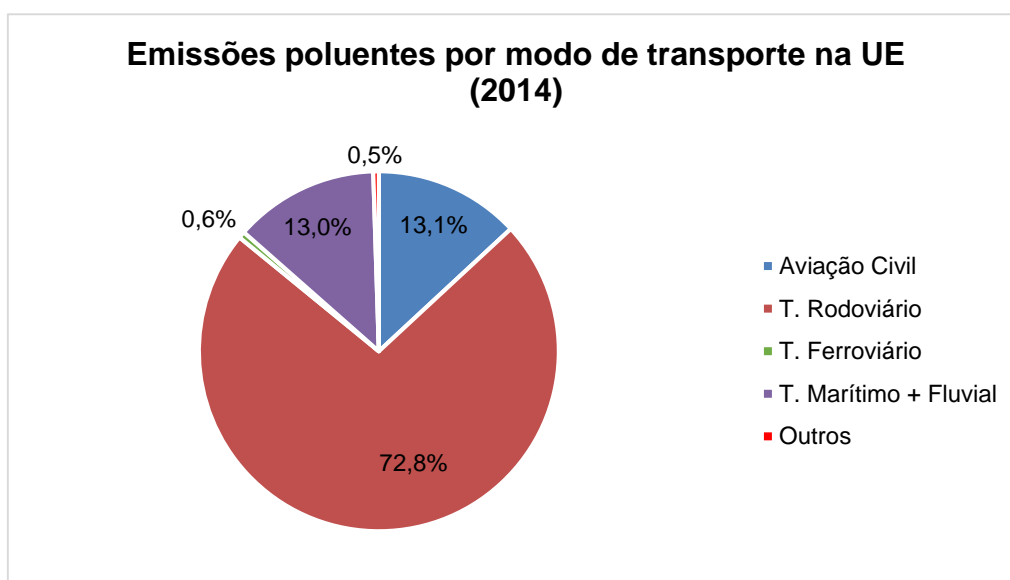


Figura 3 – Emissões poluentes por modo de transporte (adaptado de Comissão Europeia, 2015b).

Por outro lado, o sector do transporte rodoviário de mercadorias enfrenta ainda algumas dificuldades, particularmente com impacto nas empresas de transporte e operadores logísticos. Os custos do transporte rodoviário têm vindo a aumentar, dado o crescente custo dos combustíveis, a taxação pela utilização da infraestrutura e as regulamentações de impacto ambiental cada vez mais exigentes. Além disso, é cada vez mais difícil encontrar no mercado motoristas qualificados para a função (Daimler, 2014b). A escassez de motoristas que se tem verificado não só na Europa mas também noutras regiões do Mundo, como nos Estados Unidos da América (EUA), é consequência das condições de trabalho

pouco atractivas da função, do elevado investimento necessário para a licença de condução, e das exigentes regulamentações aplicadas aos motoristas (Davies, 2015).

Finalmente, apesar da tendência decrescente verificada na UE (representada na Figura 4), o transporte rodoviário produz anualmente um número brutal de sinistros, com danos humanos e materiais, sendo de longe o modo com o maior número de acidentes registado (Comissão Europeia, 2014b). Só nos EUA por exemplo, os acidentes rodoviários foram responsáveis por 212 mil milhões de dólares em prejuízos em 2012 (Bertoncello & Wee, 2015). No caso da UE, em 2014 foram registadas cerca de 25700 mortes provocadas pela sinistralidade rodoviária (Comissão Europeia, 2015b). Neste campo, a CE definiu igualmente metas a médio e longo prazo no *White Paper*, nomeadamente a redução para metade do número de acidentes rodoviários mortais até 2020, caminhando assim para o seu objectivo basilar de atingir as “zero mortes” nas estradas até 2050 (Comissão Europeia, 2011b).

1.5. Previsão para a implementação de Veículos Autónomos

A elaboração de uma previsão rigorosa para introdução de veículos com tecnologia de condução autónoma não é um processo fácil. Esta cronologia possui sempre um elevado grau de subjectividade associado, já que a implementação da tecnologia está fortemente dependente de factores como o apoio político, o financiamento e a opinião pública. De qualquer forma, uma implementação faseada poderá facilitar a aceitação deste tipo de tecnologia por parte da sociedade em geral, e pelos utilizadores da infraestrutura rodoviária em particular (Next Big Future, 2015). Rosen (2016) refere três etapas de implementação: a fase de desenvolvimento tecnológico, a decorrer actualmente; a substituição parcial do condutor e, finalmente, a proliferação generalizada de automóveis e camiões totalmente autónomos (Figura 5).

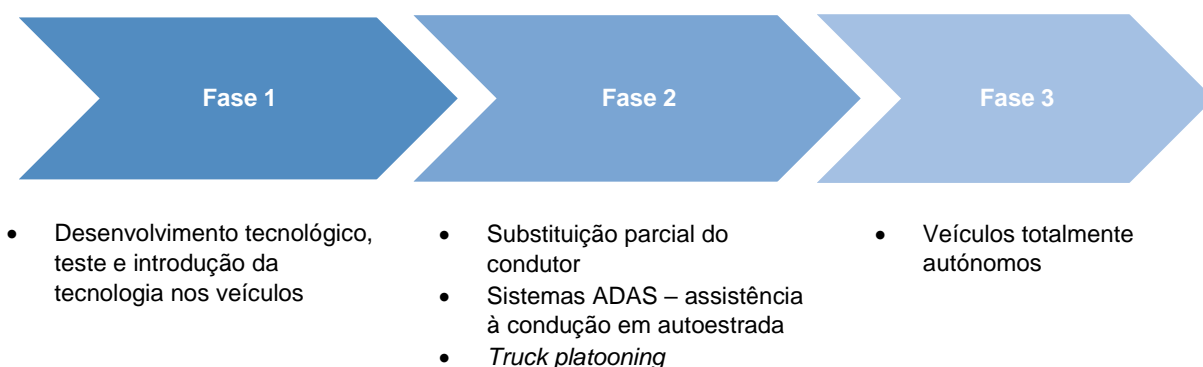


Figura 4 – Etapas de implementação dos veículos autónomos (adaptado de Rosen, 2016).

Lund (2016) prevê que a nível mundial existam 3.5 milhões de veículos autónomos em 2025, aumentando este valor para 4.5 milhões em 2030. Até 2025 é expectável que os veículos requeiram o

controlo do condutor em certos momentos da condução, sendo que veículos totalmente autónomos apenas deverão ser disponibilizados após 2030. As estradas deverão ser frequentadas apenas por veículos autónomos de passageiros e mercadorias depois de 2050 (IHS Markit, 2014).

Não existindo ainda uma previsão definitiva para o início da produção em massa e disponibilização de veículos autónomos à sociedade em geral, a maioria dos agentes envolvidos refere que a introdução de certos níveis de automação nos veículos, nomeadamente os Níveis 3 e 4, deverá acontecer dentro da próxima década. De acordo com Garner (2016), 59% da indústria logística prevê a implementação de camiões autónomos nas suas operações até 2025. Desta forma, o planeamento antecipado por parte das empresas de Logística para a adopção desta tecnologia poderá representar uma vantagem competitiva aquando desta implementação (Van Meldert & De Boeck, 2016).

1.6. Aplicações actuais da automação

O grau de automação implementado nos vários modos de transporte tem vindo a aumentar, seja com o objectivo de melhorar a produtividade e eficiência do transporte, seja pela protecção da integridade física dos trabalhadores face a ambientes perigosos.

O sistema de piloto automático utilizado no sector da aviação é considerado a aplicação mais avançada de tecnologia autónoma em utilização actualmente (Daimler, 2014b). Por outro lado, a utilização de veículos autónomos é já uma realidade em actividades diárias de diversas indústrias, especialmente em situações *off-road*. São os casos da exploração mineira na Austrália e no Chile, bases e operações militares, com a utilização de camiões especializados, ou o sector da agricultura, onde drones monitorizam os campos de cultivo e aplicam pesticidas (Van Meldert & De Boeck, 2016; Andersen, 2015; Bertoncetto & Wee, 2015). Decorrem também testes utilizando *shuttles* autónomos em alguns *campi* universitários na Europa (Insurance Information Institute, 2016).

No que diz respeito ao sector da Logística, os veículos autónomos podem ser aplicados em quatro cenários principais: *indoor* (operações em armazém), *outdoor* (ambientes delimitados e controlados), transporte de longo curso e operações de *last mile delivery* (Heutger & Kückelhaus, 2014). Esta Dissertação incidirá apenas no transporte de mercadorias de longo curso.

Hoje em dia existem diversos casos bem sucedidos da utilização de tecnologia autónoma em ambientes *indoor*, tais como veículos responsáveis pelo transporte, carga e descarga de bens, ou ainda pela realização de operações de *picking*. Em aplicações *outdoor*, a aplicação de veículos autónomos é feita em portos, terminais logísticos ou recintos exteriores de fábricas (Van Meldert & De Boeck, 2016; Flämig, 2016).

O grande desafio será implementar esta tecnologia em operações logísticas em estradas públicas, nas quais existe maior incerteza de acontecimentos e legislação mais exigente (Van Meldert & De Boeck, 2016). Neste sentido, os primeiros testes em contexto real, levados a cabo em autoestradas públicas,

têm sido realizados com resultados bastante satisfatórios. De referir a demonstração realizada pela Uber em Outubro de 2016 no Estado do Colorado, EUA, durante a qual um camião semi-autónomo da Otto percorreu cerca de 190 quilómetros em autoestrada apenas com a supervisão do motorista, transportando um carregamento de cervejas. Esta foi a primeira vez que um camião autónomo foi utilizado para efectuar um transporte de mercadorias (Newcomer & Webb, 2016; Fitzpatrick, 2016).

1.7. Objectivos

O objectivo do presente trabalho visa, primeiramente, avaliar o potencial de redução do consumo de combustível e das emissões de CO₂ pela utilização do *truck platooning*. Para isso, o *input* utilizado como base deste estudo será um conjunto de rotas realizadas diariamente pelo maior operador logístico português, o Grupo Luís Simões. Assim, este estudo pretende apresentar uma comparação entre a situação implementada actualmente, onde as rotas são efectuadas individualmente por camiões convencionais, e a realização dessas mesmas rotas através da modalidade *platooning*, aferindo os eventuais benefícios.

As rotas consideradas neste trabalho são efectuadas apenas em Portugal Continental, facto este que constitui outro objectivo deste estudo, o de analisar o potencial de aplicação do *platooning* em distâncias mais curtas. Apesar de a densidade da rede de autoestradas portuguesa (28.65 m de autoestrada/km²) ser relativamente semelhante à densidade da rede de outros países europeus como a Alemanha (35.98 m de autoestrada/km²) ou a Espanha (32.04 m de autoestrada/km²), e até superior à de França (17.78 m de autoestrada/km²), a extensão da rede nacional de autoestradas (2647 km) é claramente inferior à destes países (16214 km no caso de Espanha, 12845 km no da Alemanha e 11392 km no de França) (NationMaster, 2014; NationMaster, 2014b).

Não obstante, o propósito deste trabalho não é o de desenvolver um estudo pormenorizado em termos práticos, entrando em linha de conta com os diversos factores que influenciam a viabilidade de realização do *platooning*. Este estudo pretende, assim, obter as primeiras conclusões da aplicação desta solução à rede portuguesa através de uma abordagem aproximada, contribuindo para o interesse e compreensão desta nova tecnologia, de modo que futuras investigações prossigam na exploração do seu potencial. Por outro lado, o principal contributo deste trabalho reside na aplicação do *truck platooning* a uma realidade específica e ainda pouco estudada, como é o caso da rede de autoestradas portuguesa e a aplicação do *platooning* em rotas com distâncias mais curtas.

1.8. Metodologia e Estrutura da Dissertação

A elaboração desta Dissertação envolveu três fases principais, explicitadas na Figura 6.

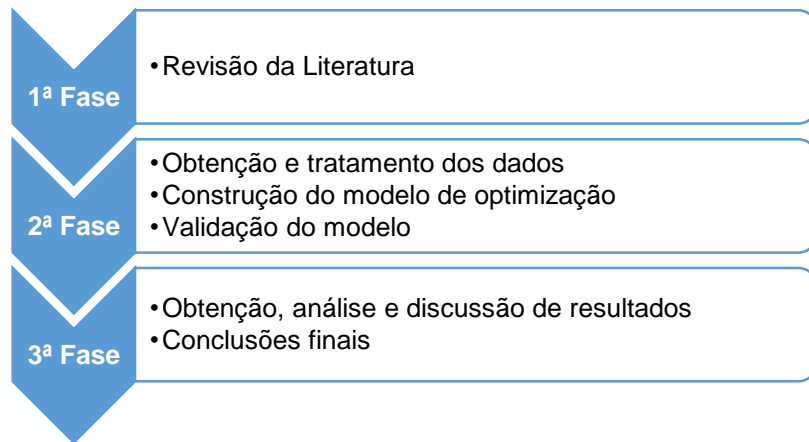


Figura 5 – Metodologia de desenvolvimento da Dissertação.

A Dissertação encontra-se dividida em cinco Capítulos. O Capítulo 1 descreve a motivação e enquadramento da sua realização, bem como os seus objectivos, estrutura e a metodologia seguida. O Capítulo 2 apresenta uma revisão da Literatura referente a veículos autónomos, em particular a este tipo de veículos aplicado no transporte de mercadorias. No Capítulo 3 encontra-se sintetizada uma revisão da Literatura no que respeita à optimização de rotas, nomeadamente o *Vehicle Routing Problem* (VRP) e os métodos utilizados para a sua resolução. O caso de estudo é apresentado no Capítulo 4, assim como o modelo de optimização desenvolvido e os resultados obtidos são discutidos. Finalmente, o Capítulo 5 reúne as principais conclusões extraídas deste estudo, apresentando igualmente indicações para futuros desenvolvimentos relacionados com esta temática.

2. ESTADO DA ARTE: VEÍCULOS AUTÓNOMOS

Este capítulo apresenta uma revisão da literatura referente aos veículos autónomos até à data da realização desta Dissertação, em especial no que respeita aos veículos autónomos de transporte de mercadorias. O foco recai principalmente no trabalho desenvolvido ao nível dos países da União Europeia, sendo prestada secundariamente alguma atenção aos EUA.

Assim, a secção 2.1. constitui uma cronologia do desenvolvimento dos veículos autónomos até aos dias de hoje; na secção 2.2. são esclarecidos alguns conceitos relevantes desta temática, nomeadamente os níveis de automação dos sistemas envolvidos; na secção 2.3. é discutida a legislação vigente associada a veículos autónomos; a secção 2.4. diz respeito à aplicação da automação no transporte de mercadorias de longo curso – camiões (semi) autónomos e *truck platooning*; os ganhos potenciais pela utilização de camiões autónomos são discutidos na secção 2.5.; os entraves à introdução de camiões autónomos no transporte de mercadorias de longo curso são apresentados na secção 2.6.; a secção 2.7. explora os impactos que a implementação de veículos autónomos poderá inferir na Cadeia de Abastecimento; finalmente, a secção 2.8. apresenta uma reflexão global sobre este capítulo.

*“If you have built castles in the air, your work need not be lost; that is where they should be.
Now put the foundations under them.”*

Henry David Thoreau, Walden

2.1. Cronologia do desenvolvimento de Veículos Autónomos

O início do conceito de veículos autónomos remonta provavelmente ao ano de 1939, quando a General Motors apresentou numa exposição mundial a sua visão de um sistema de transportes para a década de 1960, integrando veículos autónomos e autoestradas inteligentes (Weber, 2014). Nos anos seguintes, alguns investigadores no Reino Unido e nos EUA sugeriram uma solução na qual veículos autónomos recebiam sinais emitidos por dispositivos electrónicos embutidos na infraestrutura, ao longo de um percurso predefinido. Tendo em consideração os custos avultados na criação de caminhos electrónicos especializados para a circulação destes veículos não foi atribuído financiamento para a investigação desta solução; o foco passou antes pelo desenvolvimento de veículos que operassem de forma autónoma na infraestrutura existente (Davidson & Spinoulas, 2015).

Nas décadas seguintes foi realizada investigação sobre o tema, principalmente, por universidades e institutos nos EUA e Japão. Em 1977, um laboratório japonês desenvolveu um veículo que operava autonomamente a cerca de 30 km/h, seguindo dispositivos incorporados na pista de teste. Nos anos 80, uma universidade de Munique criou um protótipo capaz de circular em estrada, sem tráfego, a cerca

de 100 km/h (Forrest & Konca, 2007). Em 2004, nos EUA a DARPA promoveu uma competição para a demonstração de veículos autónomos, visando a realização de 240 quilómetros numa estrada interestadual. Em 2007, a mesma agência lançou o desafio em ambiente urbano, incluindo automóveis e camiões (Bishop *et al.*, 2015).

Na Europa, várias organizações, incluindo a CE, têm vindo a interessar-se no estudo destas tecnologias, financiando diversos projectos. De referir principalmente: o PROMETHEUS (1987-1995), para o estudo e desenvolvimento da tecnologia radar; o PEIT (2001-2004), o PReVENT (2004-2008), o HAVEit (2008-2011) e o interactiVe (2010-2013), no âmbito dos sistemas de assistência à condução (ADAS); o SAFESPOT (2006-2010), o COOPERS (2006-2010) e o CVIS (2006-2010), para o estudo de sistemas cooperativos de transporte, utilizando tecnologias V2V e V2I (Andreone *et al.*, 2010; Faisstnauer, 2010; Kompfner, 2010); o Market-up (2010-2012), com o objectivo de identificar os principais obstáculos à inovação no sector dos transportes na Europa e as melhores práticas para a sua implementação (Comissão Europeia, 2013); o CityMobil (2006-2011), o CityMobil2 (2012-2016), o CATS (2012-2013), e o OPTICITIES (2013-2016), para a melhoria da mobilidade urbana de passageiros e mercadorias, através da introdução de sistemas de transporte automatizados (Frisoni *et al.*, 2016; Comissão Europeia, 2016a; Dokic *et al.*, 2015; Chaumier *et al.*, 2015); o AdaptiVe (2014-2017), para o desenvolvimento de funções automatizadas para as operações diárias de condução (Dokic *et al.*, 2015); o AINARA (2015-2017), com o objectivo de desenvolver *software* para a automação de veículos de transporte de passageiros e de mercadorias (Comissão Europeia, 2015a); o CARTRE (2016-2018), a fim de envolver os diversos *stakeholders* na criação de uma estratégia comum a nível internacional para a implementação de soluções autónomas de transporte rodoviário (Flament & Brizzolara, 2015); e o MAVEN (2016-2019), para o desenvolvimento de tecnologias inteligentes de comunicação entre os veículos e a infraestrutura (Comissão Europeia, 2016b).

Mais recentemente, um vasto leque de empresas tecnológicas e fabricantes de veículos têm vindo a desenvolver e a testar as suas soluções autónomas, como são os casos da Google, Tesla, Audi, Ford, Mercedes-Benz e Nissan, aplicadas ao transporte de passageiros (Bunghez, 2015; Bishop *et al.*, 2015; Heutger & Kückelhaus, 2014).

Especificamente no caso dos veículos de transporte de mercadorias, diversas soluções de camiões equipados com tecnologia de condução autónoma têm sido testadas a nível mundial desde a década de 90. Vários fabricantes têm vindo a desenvolver conceitos inovadores para os seus veículos, como é o caso da Daimler, DAF ou Scania. A maioria dos estudos realizados tem incidido no conceito do *truck platooning* tendo em conta os potenciais ganhos significativos da sua utilização, quer em pistas de testes quer em demonstrações públicas em determinadas autoestradas, mediante a obtenção de uma licença especial. Estes tópicos serão apresentados com mais detalhe na secção 2.4.2.

2.2. Conceitos e definições

2.2.1. Terminologia dos Veículos Autónomos

Apesar da introdução de veículos autónomos parecer um cenário distante (Heutger & Kückelhaus, 2014), segundo DOT & NHTSA (2016) a sua implementação está próxima de ser viável. Hoje em dia, os veículos estão equipados com um número crescente de funções automatizadas, como o *Anti-lock Braking System* (ABS), o *Adaptive Cruise Control* (ACC), o *Lane Keeping Assist* (LKA) ou o sistema de estacionamento automático.

Não existe uma definição consensual para o termo “veículo autónomo”, muitas vezes designado na literatura como “*automated*”, “*autonomous*” ou “*driverless*”. É possível associar estas três designações a três fases sequenciais de desenvolvimento e implementação dos veículos autónomos, sendo a fase “*driverless*” o estado mais avançado de autonomia, no qual não é necessária qualquer intervenção humana durante a condução (Koslowski, 2016).

No entanto, existem algumas definições criadas por entidades oficiais, de modo a facilitar a colaboração e o diálogo entre os sectores técnico e político em torno dos veículos autónomos e do nível de automação envolvido. Os veículos automatizados podem ser considerados “autónomos” se apenas utilizarem sensores instalados no veículo para recolher dados da envolvente e tomar decisões, ou “conectados”, se fizerem uso de sistemas de comunicação via *wireless* que permitam a comunicação entre veículos (V2V) ou entre estes e a infraestrutura (V2I) (Frisoni *et al.*, 2016; DOT, n.d.). Não é necessária a existência de uma ligação à *internet* para que os veículos sejam considerados “conectados”; o sistema de comunicação é estabelecido directamente entre veículos (CALSTART, n.d.). Estes pontos serão desenvolvidos com mais pormenor na secção 2.2.2.

A nível europeu, a UE define “veículo automatizado” como sendo um “veículo motor (automóvel, camião ou autocarro) que possui tecnologia disponível para auxiliar o condutor, de forma a que certas tarefas da condução possam ser transferidas para um sistema computadorizado”. Já um “veículo autónomo” refere-se a um “veículo totalmente automatizado, equipado com tecnologia capaz de desempenhar todas as tarefas da condução sem qualquer intervenção humana”, ao passo que um veículo “conectado” corresponde a um “veículo motor equipado com dispositivos que permitam a comunicação, através da Internet, com outros veículos ou com a infraestrutura” (Pillath, 2016).

Nos EUA, NHTSA (2013b) define veículos autónomos como sendo aqueles em que o seu funcionamento se processa com a mínima intervenção directa do condutor, no desempenho de funções como o controlo da direcção, aceleração e travagem, sendo estes veículos desenvolvidos de forma a que o condutor não necessite de controlar permanentemente a estrada quando o veículo se encontra no modo de condução automática.

No que diz respeito aos níveis de automação dos sistemas presentes nos veículos, na Europa, à semelhança da comunidade internacional da indústria automóvel, a UE adopta a classificação da *Society of Automotive Engineers* (SAE) (Pillath, 2016; Davies, 2016). Esta classificação é composta por seis níveis de automação, correspondendo os três primeiros níveis a estados em que o condutor

monitoriza o ambiente da condução, enquanto que nos restantes níveis é o sistema a assumir este papel (SAE International, 2014):

- **Nível 0 – Nenhuma automação** – o condutor desempenha permanentemente a tarefa da condução.
- **Nível 1 – Assistência ao condutor** – neste nível, o condutor pode ser apoiado por um sistema de assistência à condução, como o controlo da direcção ou aceleração/desaceleração, mas deverá desempenhar todos os restantes aspectos da condução.
- **Nível 2 – Automação parcial** – o condutor pode beneficiar do apoio de um ou mais sistemas de assistência à condução, como o controlo da direcção e aceleração/desaceleração, mas deverá executar todas as restantes tarefas da condução.
- **Nível 3 – Automação condicional** – a tarefa da condução é desempenhada em todos os aspectos por um sistema de condução automatizada, porém o condutor deverá assumir o controlo do veículo sempre que for requerido.
- **Nível 4 – Automação elevada** – a tarefa da condução é desempenhada em todos os aspectos por um sistema de condução automatizada, mesmo nas situações em que o condutor não responda adequadamente a um pedido de intervenção.
- **Nível 5 – Automação total** – a tarefa da condução é desempenhada em todos os aspectos por um sistema de condução automatizada, durante toda a viagem e em quaisquer condições ambientais.

NHTSA (2013a) classificou este tipo de veículos em cinco níveis de automação diferentes. Porém, a fim de uniformizar a nomenclatura utilizada, em Setembro de 2016 decidiu adoptar a classificação SAE, designando por “Veículo Altamente Automatizado” os veículos entre os níveis 3 e 5 dado que é o sistema automatizado a monitorizar o ambiente da condução (DOT & NHTSA, 2016b).

Esta classificação pretende apenas descrever os níveis de automação envolvidos em determinada fase do desenvolvimento tecnológico, não constituindo qualquer base legal ou normativa (SAE International, 2014). Não obstante, a *National Highway Traffic Safety Administration* (NHTSA) pretende que os fabricantes comecem a apresentar o nível de automação presente nos seus veículos, de acordo com a classificação da SAE (DOT & NHTSA, 2016b).

No Quadro 1 encontram-se resumidos os níveis de automação definidos, bem como a comparação entre os níveis SAE e a classificação anteriormente criada pela NHTSA. É possível constatar que ambas as classificações apresentam definições semelhantes para os vários níveis de automação. A principal diferença reside no facto de que a SAE faz a distinção entre uma automação “elevada” e a automação “total” – Níveis 4 e 5 – ao passo que a NHTSA considerava ambos os estados no Nível 4.

Quadro 1 – Níveis de automação (adaptado de SAE International, 2014).

Nível SAE	Designação	Descrição	Nível NHTSA
O condutor monitoriza o ambiente da condução			
0	Nenhuma Automação	Veículos convencionais. O condutor assume o controlo em todas as situações.	0
1	Assistência ao Condutor	O condutor pode ser assistido por um sistema ACC ou LKA.	1
2	Automação Parcial	O condutor pode ser assistido pelos sistemas ACC e LKA, mas tem de manter a sua atenção na estrada.	2
O sistema automatizado monitoriza o ambiente da condução			
3	Automação Condicional	O sistema controla a velocidade e direcção do veículo, assim como as condições da estrada. O condutor deverá estar preparado para assumir o controlo do veículo sempre que solicitado.	3
4	Automação Elevada	O sistema controla a velocidade e direcção do veículo, assim como as condições da estrada, mesmo nas situações em que o condutor não responda a uma solicitação para controlar o veículo.	4
5	Automação Total	O sistema desempenha todas as tarefas da condução em quaisquer condições ambientais. O condutor não tem nenhuma responsabilidade na condução.	

Actualmente, apenas estão disponíveis para fins comerciais veículos até ao Nível 2 de automação (Center for Advanced Automotive Technology, 2016). Em última instância, e utilizando a designação de forma rigorosa, um “veículo autónomo” corresponde ao Nível 5 de automação, no qual este desempenha a tarefa da condução em qualquer situação e de forma independente, sem qualquer intervenção do condutor (CALSTART, n.d.).

2.2.2. Comunicações V2V e V2I

Os sistemas de comunicação Veículo-Veículo (V2V) e Veículo-Infraestrutura (V2I) são elementos que fazem parte dos Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS), em constante desenvolvimento nos dias de hoje (Jia & Ngoduy, 2016). Estes elementos estão associados ao conceito de “conectividade” e permitem constituir Sistemas Inteligentes Cooperativos de Transporte (C-ITS), através da troca de informação via *wireless* entre os terminais envolvidos, melhorando a fiabilidade de operação dos veículos autónomos. É importante referir que numa fase inicial de implementação da tecnologia, independentemente do tipo de informação recebida, o condutor tem o poder de decisão em relação à acção a efectuar (Talebpour & Mahmassani, 2016). A utilização destes sistemas visa melhorar substancialmente a segurança rodoviária, o fluxo do tráfego e o conforto da condução.

No que respeita às comunicações V2V, estas permitem ao veículo trocar informação relevante com os veículos vizinhos, tal como a sua posição, velocidade e direcção (Glielmo, 2011). Esta tecnologia possibilita também que os veículos se acoplem numa formação cooperativa entre si (Jia & Ngoduy, 2016), sendo o denominado *truck platooning* uma das suas aplicações mais comuns, na qual o sistema assume o controlo longitudinal e/ou lateral dos veículos (Bishop *et al.*, 2015). Este tópico será desenvolvido com mais detalhe na secção 2.4.2. Este sistema também possibilita a troca de dados com veículos mais distantes, facilitando a previsão por parte dos condutores de situações adversas no tráfego como, por exemplo, choques em cadeia. É, portanto, um sistema com impacto ao nível operacional da condução, já que permite ao condutor melhorar o seu tempo de reacção face às diversas situações da condução (Talebpour & Mahmassani, 2016).

No caso das comunicações V2I, a infraestrutura desempenha um papel fundamental em termos de coordenação já que reúne dados globais e locais acerca do tráfego e das condições da estrada, emitindo posteriormente indicações para os veículos a partir de Centros de Controlo de Tráfego. Estas informações podem estar relacionadas com os limites de velocidade aplicáveis numa determinada estrada, condições climatéricas ou corte de via devido à ocorrência de trabalhos ou acidentes. A sua implementação pode passar pela criação de corredores ITS em autoestradas específicas, equipados com dispositivos electrónicos que permitam a comunicação entre os veículos e a infraestrutura. Esta situação está prevista no desenvolvimento da Rede Transeuropeia de Transportes (TEN-T), financiada pela CE (European Truck Platooning Challenge, 2016).

Em aplicações mais avançadas, a infraestrutura poderá sugerir a velocidade de circulação e a distância entre veículos mais adequadas com base nas condições reais de tráfego. Este sistema tem sobretudo influência ao nível estratégico da condução, uma vez que permite ao condutor planear o seu trajecto com base na informação recebida em tempo real, actualizando automaticamente o percurso (Talebpour & Mahmassani, 2016; Nowak *et al.*, 2016; Glielmo, 2011).

2.3. Legislação vigente

O desenvolvimento da mobilidade inteligente decorre a um ritmo acelerado, nomeadamente no que se refere a veículos com tecnologia de condução autónoma. A tecnologia que permite o fabrico de veículos autónomos já existe, no entanto, a existência de diferente regulamentação aos níveis nacional e internacional está a impedir a introdução generalizada deste tipo de veículos, constituindo o seu principal obstáculo (European Union, 2016d).

No caso da Europa, a cooperação entre todos os Estados Membros da UE, bem como entre os Governos e a indústria, é crucial de modo a criar um quadro regulatório uniforme que permita a realização em larga escala de testes em estradas públicas, numa primeira fase, e posteriormente a introdução no mercado de veículos com níveis de automação progressivamente superiores (Frisoni *et al.*, 2016). Esta regulamentação terá de prever questões-chave como a responsabilidade, privacidade,

segurança de dados e os impactos que os veículos autónomos poderão ter na rede rodoviária (European Union, 2016; The Guardian, 2016).

A circulação rodoviária está regulamentada por várias convenções internacionais, nomeadamente a Convenção de Paris (1926), a Convenção de Genebra (1949) e a Convenção de Viena (1968). Em particular esta última, designada “Convenção sobre a circulação rodoviária”, representa a versão existente mais completa no que respeita à regulação da circulação rodoviária, tendo sido redigida a fim de facilitar o tráfego rodoviário internacional e melhorar a segurança rodoviária, padronizando as regras entre os estados contratantes, dos quais faz parte Portugal. Entre os países que não ratificaram a Convenção estão os EUA, o Japão e a China, assim como os Estados Membros do Reino Unido e Espanha (Pillath, 2016; Frisoni *et al.*, 2016).

No entanto, esta dá a possibilidade aos Estados aderentes de rejeitarem futuras alterações ao documento, o que levou à existência de um quadro regulatório bastante heterogéneo no espaço da UE (Jornal Oficial da União Europeia, 2005). Por outro lado, segundo a versão original desta Convenção, “qualquer veículo ou conjunto de veículos deve ter um condutor” e “o condutor deve ser capaz de assumir o controlo do seu veículo em todos os momentos”, o que não prevê, portanto, o cenário da automação do veículo (UNECE, 1968). Sistemas de apoio à condução como o ABS ou o controlo de estabilidade não violam a Convenção visto que não tomam totalmente o controlo do veículo (Glielmo, 2011).

Além da Convenção de Viena, que engloba as situações relacionadas com a circulação rodoviária, ao nível da UE a entrada de novos veículos no mercado está dependente da homologação da CE, ao abrigo da Directiva 2007/46/EC (designada *EC type approval*). Esta exige por parte dos fabricantes o cumprimento de padrões mínimos de segurança e de impacto ambiental pelos veículos (The Boston Consulting Group, n.d.). Esta aprovação baseia-se nas directivas estabelecidas num acordo da UNECE datado de 1958 (Lutz, 2016), as quais pretendem uniformizar os requisitos técnicos dos veículos e seus componentes para utilização a nível internacional (UNECE, 1995). Neste âmbito, em particular o Regulamento nº 79 tem constituído o principal obstáculo para a homologação de veículos autónomos na Europa, na medida em que permite a utilização de um ADAS de controlo da direcção, como o LKA, apenas se o condutor “permanecer em todos os momentos no controlo primário do veículo”. Além disso, possibilita que o sistema controle o veículo apenas até 10 km/h, como em situações de assistência ao estacionamento, valor a partir do qual apenas permite a utilização desta funcionalidade de forma correctiva (UNECE, 2005).

Por esta razão, os níveis de automação que se pretendem implementar nos próximos anos não são compatíveis com a legislação actual, sendo imperativo o estabelecimento de emendas a esta regulamentação (Pillath, 2016). Esta questão encontra-se a ser analisada por um comité da UNECE, sendo que futuramente os sistemas de controlo automático da direcção deverão ser divididos em cinco categorias, cada uma exigindo requisitos próprios. Por outro lado, prevê-se que seja permitida a sua utilização até velocidades de 130 km/h, desde que o condutor tenha a possibilidade de substituir ou

desligar o sistema em qualquer momento. A introdução destas alterações é expectável durante o ano de 2017 (UNECE, 2016; Lutz, 2016).

É também necessária uma revisão no que diz respeito à legislação aplicada aos motoristas, nomeadamente o Regulamento (CE) nº 561/2006 relativo aos períodos de condução e de descanso, e o Regulamento (CEE) nº 3821/85 que especifica a utilização do tacógrafo nos veículos, para que os níveis de automação superiores estejam previstos e de acordo com a nova legislação, em particular os Níveis 3 e 4 (Frisoni *et al.*, 2016). Por último, alguns países europeus estabelecem uma distância mínima de segurança entre camiões, situação que deve igualmente ser revista de modo a permitir beneficiar em grande medida das vantagens do *truck platooning* (Sharman, 2015).

É, assim, essencial a criação de um ambiente regulatório favorável para realização de testes utilizando veículos autónomos, estabelecendo a transição entre o *status quo* da circulação automóvel e a entrada destes veículos no mercado, de forma a garantir a fiabilidade e robustez da tecnologia. Estas alterações já se encontram em curso, tanto a nível europeu como mundial (Correia, 2016). Em 2014, a *United Nations Economic Commission for Europe* (UNECE) aprovou uma emenda à Convenção, iniciada pela Áustria, Bélgica, França, Alemanha e Itália, a qual autoriza a condução automática de um veículo “desde que o sistema possa ser substituído ou desligado pelo condutor” (UNECE, 2014). A emenda entrou em vigor em Março de 2016 (Lutz, 2016). Esta alteração permite a operação de veículos até ao Nível 3 de automação, mas os Níveis 4 e 5 são ainda incompatíveis com a legislação actual. Por outro lado, desde Novembro de 2015 é exigido por lei que os novos camiões vendidos na Europa estejam equipados com o sistema *Autonomous Emergency Braking* (AEB) (Sharman, 2015).

Nos EUA, em Junho de 2011 o Estado do Nevada aprovou uma lei (*Assembly Bill nº 511*) que permite ao Departamento dos Transportes do Nevada estabelecer regulamentação autorizando a utilização de veículos autónomos em autoestradas dentro do Estado, nomeadamente designando áreas específicas onde este tipo de veículos possa ser testado (Calo, 2011; Knapp, 2011). Tornou-se, assim, o primeiro Estado a permitir a utilização deste tipo de veículos autónomos em autoestradas públicas (Insurance Information Institute, 2016).

Em Abril de 2016, os ministros dos transportes dos 28 Estados Membros da UE estiveram reunidos num Conselho informal em Amesterdão, com o objectivo de discutir o futuro do sector dos transportes na Europa, abordando temas como a inovação e a mobilidade inteligente e sustentável. No caso da mobilidade inteligente, esta refere-se à utilização de veículos autónomos e *truck platooning*, tendo sido a primeira vez que esta temática foi discutida a nível político (European Union, 2016d).

No seguimento deste encontro, os 28 ministros assinaram o Tratado de Amesterdão, o qual estabelece as linhas de acção necessárias ao desenvolvimento da tecnologia de condução autónoma na UE. Este documento reúne o compromisso da Holanda, da Comissão Europeia, dos Estados Membros da UE e da indústria dos transportes para a elaboração de regulamentação que irá permitir a introdução de veículos autónomos nas estradas, se possível até 2019 (European Union, 2016; European Union, 2016a). As medidas passam, designadamente, pela realização de emendas à Convenção de Viena que irão autorizar a utilização destes veículos em estradas públicas (Stupp, 2016), reunir o consenso dos

vários fabricantes em relação à tecnologia utilizada para a conexão entre veículos diferentes (Ian Wong, 2016) e promover a colaboração entre países para permitir o teste e a utilização transfronteiriça destes veículos (European Union, 2016; Watt, 2016).

No Quadro 2 encontra-se sintetizado o ponto de situação relativo à legislação prevendo a operação de veículos autónomos em alguns Estados Membros da UE.

Quadro 2 – Legislação vigente em alguns Estados Membros da UE.

País	Situação
Portugal	Em 2016, o secretário de Estado da Indústria anunciou a intenção do Governo de, em 2017, criar legislação que permita a realização de testes com veículos autónomos em estradas públicas (Veríssimo, 2016).
Suécia	Até este momento, o condutor tem a responsabilidade jurídica pelos eventos ocorridos durante a condução, mesmo num veículo com condução autónoma. A nova legislação, a entrar em vigor em Maio de 2017, propõe que esta responsabilidade transite para a entidade organizadora do teste, sempre que o veículo se encontrar no modo de condução autónoma (Scania, 2016). A nova legislação propõe ainda que a Swedish Transport Agency autorize a realização de testes com veículos autónomos, sob certas condições (Amanuel, 2016).
Finlândia	A legislação actual permite a realização de testes envolvendo veículos autónomos em determinadas estradas públicas e em certos períodos, não exigindo a presença de um condutor para controlo do veículo (Scania, 2016; Perry, 2015; Flament, 2015). Esta legislação entrou em vigor em 2015 e será válida por um período de teste de 5 anos (Habibović, 2015).
Holanda	Em Junho de 2015 alterou a sua legislação de modo a permitir a realização em larga escala de testes com veículos autónomos, de passageiros e de mercadorias. A entidade organizadora tem de garantir as condições de segurança do teste (Flament, 2015). A nova legislação exige a presença de um condutor para assumir o controlo do veículo quando necessário (Scania, 2016).

Quadro 2 – Legislação vigente em alguns Estados Membros da UE (continuação).

País	Situação
Reino Unido	A legislação existente não impede a realização de testes com veículos autónomos em estradas públicas, desde que esteja presente um condutor dentro do veículo. A empresa organizadora do teste é responsável por garantir as condições de segurança do evento (Perry, 2015). Em 2015, lançou um “ <i>Code of Practice</i> ” com directivas para ajudar a garantir a segurança durante a fase de testes (Department for Transport, 2015).
França	Em 2016 alterou a sua legislação, permitindo o teste de veículos semi ou totalmente autónomos em estradas públicas, de passageiros ou mercadorias (Présidence de la République française, 2016).
Espanha	Em 2015 lançou directivas que permitem testes de veículos autónomos em estradas públicas (IEEE Connected Vehicles, 2015).
Alemanha	O Governo alemão planeia lançar legislação que autorize a realização de testes com veículos autónomos em estradas públicas, desde que na presença de um condutor que assuma o controlo do veículo sempre que solicitado pelo sistema (Handelsblatt, 2016). Actualmente, cada estado federado pode conceder uma autorização para a realização destes testes, sendo que o condutor assume toda a responsabilidade legal pela segurança do veículo (Perry, 2015).
Itália	Permite a realização de testes com veículos autónomos em estradas públicas, sob certas condições (Habibović, 2015).
Grécia	Em 2014 foi votado um acto legislativo pelo Parlamento grego, que possibilita a execução de testes com veículos autónomos em estradas públicas, mediante certas condições (Flament, 2015).
Bélgica	A legislação em vigor permite a realização de testes com veículos autónomos em estradas públicas, após autorização para o efeito e desde que os veículos possuam um condutor, estando a responsabilidade por qualquer acidente da parte do fabricante (Frisoni <i>et al.</i> , 2016; Flament, 2015).

Além da Europa, vários outros países a nível mundial têm iniciado o processo de revisão da sua legislação e permitem já a realização de testes com veículos com tecnologia de condução autónoma em estradas públicas, como é o caso dos estados americanos da Califórnia, Michigan, Flórida, Nova Iorque ou o Distrito da Colúmbia; Japão, China e Singapura. De uma forma geral, durante estes testes é exigida a presença de um condutor preparado para assumir o controlo do veículo sempre que necessário (Flament, 2015; Habibović, 2015).

2.4. Soluções de automação existentes

No campo do transporte rodoviário de mercadorias de longo curso, duas soluções principais têm sido desenvolvidas e testadas: através do recurso a avançados sistemas de apoio à condução presentes nos camiões (ADAS), ou pela formação cooperativa de pelotões de camiões no designado *truck platooning* (Kuehn & Reiner, 2016).

2.4.1. Assistência à condução em autoestrada – Sistemas ADAS

Enquanto a visão de um mundo servido por veículos autónomos não se torna uma realidade, cada vez mais fabricantes têm incluído nos seus veículos funcionalidades que apoiam o condutor na sua tarefa, eliminando erros e aumentando a segurança na condução.

Vários fabricantes de automóveis, como a Tesla, a Audi, a Mercedes, a Volvo, a BMW ou a Renault têm vindo a investir milhões e a equipar os seus veículos com sistemas de apoio à condução cada vez mais avançados (ADAS), focados no desenvolvimento do seu próprio veículo autónomo para transporte de passageiros (Muller, 2015; Fenger, 2015).

Estes sistemas inserem-se no grupo dos ITS (IMT, n.d.) e desempenham um papel fundamental na evolução do nível de automação presente nos veículos, desde a condução semi-autónoma (Níveis 2 e 3) até se atingir o estado de condução totalmente autónoma (Níveis 4 e 5) (Choi *et al.*, 2016). Dentro dos sistemas disponíveis e presentes em vários modelos no mercado podem destacar-se o ACC, o LKA, o AEB, o assistente de estacionamento ou o controlo de estabilidade (Janssen *et al.*, 2015; IMT, n.d.).

De uma forma geral, os ADAS são constituídos por câmaras estereoscópicas e radares de curto e longo alcance, combinados com controladores longitudinais e laterais do veículo. Estes dispositivos estão depois integrados com o computador de bordo, que processa os dados e permite ao sistema controlar a envolvente do veículo e responder de acordo com cada situação (Rathore, 2016). De realçar que, nas aplicações mais avançadas de automação, os constituintes destes sistemas oferecem redundância no caso de algum deles falhar. Por exemplo, numa situação de nevoeiro intenso em que as câmaras não consigam fornecer informação, os radares continuarão a funcionar, ou, durante a passagem num

túnel onde o sistema GPS (*Global Positioning System*) não funciona, o sistema INS (*Inertial Navigation System*) continuará activo para efeitos de posicionamento e localização do veículo (Janssen *et al.*, 2015).

No caso dos veículos de transporte de mercadorias, Heutger & Kückelhaus (2014) prevêem a sua introdução no transporte rodoviário de longo curso em três fases. Numa primeira fase, estes sistemas (Nível 2) são capazes de auxiliar na condução do veículo numa mesma via de circulação, mantendo uma distância de segurança em relação ao veículo seguinte e respeitando os limites de velocidade, disponibilizando ainda informação ao condutor em relação à envolvente do veículo, nomeadamente aos ângulos mortos. No entanto, o condutor deve manter a sua atenção na estrada, controlando o veículo e desempenhando determinadas manobras, tais como ultrapassagens e entrar ou sair da autoestrada. Numa fase intermédia, o sistema (Níveis 3 e 4) assume a tarefa da condução na maior parte do percurso, dando a possibilidade ao condutor de realizar outras funções ou descansar. No Nível 3, o condutor terá ainda de estar preparado para controlar o veículo sempre que solicitado. Numa última fase (Nível 5), mais avançada no desenvolvimento tecnológico e com a existência de um quadro regulatório favorável, o veículo realiza todo o percurso em autoestrada sem a presença de um condutor a bordo, sendo apenas necessária a condução do veículo até à entrada da autoestrada e a existência de um condutor no final do percurso, que leve o camião até ao seu destino final. ERTRAC (2015) estabeleceu uma cronologia para a implementação dos vários níveis de automação em veículos autónomos de mercadorias na Europa, representada na Figura 7.

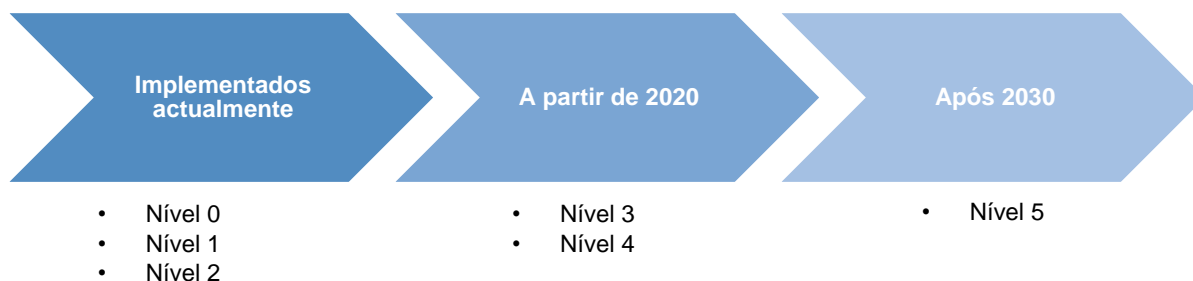


Figura 6 – Cronologia de implementação de camiões autónomos na Europa.

São exemplos de camiões equipados com este tipo de sistemas o *Mercedes-Benz Actros*, o *Freightliner Inspiration* e o *Mercedes-Benz Future Truck 2025*, todos da fabricante Daimler (Mercedes-Benz, 2015; Freightliner, 2015b; Daimler, 2014), e o *Iveco Z Truck* (Iveco, 2016a). Estando registados como veículos de teste, todos os veículos da Daimler já foram exibidos com sucesso em experiências em estradas públicas, ao contrário do da Iveco que foi apresentado recentemente numa feira tecnológica como um conceito futurista de camião sustentável (Hall, 2016; Griggs, 2015).

A Daimler criou também dois sistemas ADAS: o *Highway Pilot* e o *Highway Pilot Connect*. Estes sistemas estão licenciados para operar em algumas estradas públicas na Alemanha e têm sido

demonstrados com sucesso em vários testes de estrada (Daimler, n.d.-a). O Quadro 3 reúne os principais camiões autónomos testados em autoestradas públicas.

O primeiro oferece uma condução semi-autónoma do camião até velocidades de 85 km/h (Mercedes-Benz, 2014), estando o sistema equipado com um conjunto de câmaras e radares, bem como tecnologia V2I e V2V que permite a permanência do camião na via, o controlo da velocidade, aceleração e travagem, e ainda um sistema anticolisão (Freightliner, 2015c). O sistema não efectua autonomamente manobras de ultrapassagem, mudanças de via ou o abandono da autoestrada; porém, é capaz de se desviar momentaneamente para a passagem de um veículo de emergência (Euro Commercial, n.d.). O objectivo da sua utilização é o de facilitar a tarefa do condutor em percursos longos e monótonos, reduzindo a fadiga e as distrações, sendo este chamado a intervir sempre que sejam detectadas situações anómalas na estrada (Adlen, 2015). O condutor deve estar preparado para assumir o controlo do veículo em todos os momentos. O sistema emite um aviso para o condutor, em particular sempre que se registem condições climáticas adversas, sendo que o veículo travará automaticamente de forma segura se o condutor não responder dentro do tempo estipulado (Lavars, 2015; Davies, 2015; RoadStars, n.d.). Este sistema pode ser comparado ao sistema de piloto automático utilizado actualmente no sector da aviação (RoadStars, n.d.).

O *Highway Pilot Connect* constitui uma evolução do sistema *Highway Pilot*, permitindo que camiões equipados com este sistema circulem em formação *platooning*, assumindo o controlo longitudinal e lateral do veículo (Daimler, n.d.-a).

- **Testes reais de estrada**

Em Julho de 2014, a Daimler exibiu o seu *Mercedes-Benz Future Truck 2025*, equipado com o *Highway Pilot*, num teste realizado numa secção fechada de uma autoestrada na Alemanha (Euro Commercial, n.d.). A experiência simulou condições reais de tráfego (Mercedes-Benz, 2014), tais como situações de congestionamento, circulação em velocidade de autoestrada (até 85 km/h (Newbold, 2016b)) ou a reacção à aproximação de veículos de emergência (P&S Transportation, 2016).

A nível mundial, o primeiro camião com tecnologia de condução autónoma a ser licenciado para circular em autoestrada foi o *Freightliner Inspiration*. Esta licença foi concedida em Maio de 2015 (Construction Business News, 2016), estando autorizado a operar até à data apenas no estado do Nevada. Este camião é semi-autónomo, sendo classificado como de Nível 3, o que significa que ainda necessita de condutor para intervir quando solicitado, em certos momentos da condução. Durante a cerimónia de atribuição da licença teve lugar um evento com a operação deste veículo numa autoestrada do Nevada (Freightliner, 2015a).

Em Outubro de 2015, a Daimler promoveu uma demonstração do seu *Mercedes-Benz Actros* em condições reais de autoestrada, num teste decorrido numa autoestrada na Alemanha. Equipado com o sistema *Highway Pilot*, este camião permite uma condução semi-autónoma (Hard, 2015). Esta exibição

destacou-se por ter sido a primeira a utilizar camiões autónomos em estradas públicas, juntamente com o restante tráfego (Lavars, 2015; Gaffey, 2015).

Quadro 3 – Principais camiões autónomos testados.

Veículo	Sistema	Nível de automação	Local da demonstração	Velocidade testada	Condições
Mercedes-Benz Actros	Highway Pilot	2	Autobahn A8 (Alemanha)	Até 80 km/h	Trajecto de cerca de 15 km, em condições reais de tráfego
Freightliner Inspiration	Highway Pilot	3	Barragem Hoover (Nevada, EUA)	-	Curta viagem numa autoestrada sem tráfego, durante a cerimónia de apresentação do veículo
Mercedes-Benz Future Truck 2025	<ul style="list-style-type: none"> • Highway Pilot • Highway Pilot Connect 	3	Autobahn A14 (Alemanha)	Até 85 km/h	Trajecto de 5.6 km realizado numa secção fechada de autoestrada, simulando algumas situações de tráfego real

2.4.2. Truck Platooning

A solução mais revolucionária no que diz respeito ao transporte de mercadorias de longo curso utilizando veículos com tecnologia de condução autónoma virá provavelmente sob a forma de *truck platooning* (Van Meldert & De Boeck, 2016). Esta modalidade de transporte representa uma forma inovadora e inteligente de mobilidade, reunindo em si um grande potencial de melhoria e optimização para os sectores da logística e dos transportes, a indústria e o mercado de trabalho (European Truck Platooning, n.d.). Os vários fabricantes e operadores logísticos estão determinados em tornar o *platooning* uma realidade nas estradas europeias, sendo que já se encontram em curso os primeiros testes em condições reais de tráfego (ACEA, 2016).

O conceito de “pelotão” refere-se a um grupo de camiões que circula de forma coordenada, cooperando e comunicando constantemente entre si via WiFi. A automação dos sistemas presentes nestes camiões é, no mínimo, de Nível 2 (Behrmann, 2016; Janssen *et al.*, 2015; Bishop *et al.*, 2015; Bergenheim *et al.*, 2012). Apesar de tecnologicamente ser possível constituir pelotões com vários veículos, é expectável que numa fase inicial sejam permitidos pelotões até três camiões, de modo a habituar os restantes utilizadores da infraestrutura à presença deste tipo de “comboios” na estrada e a minimizar os eventuais atritos no fluxo do tráfego. Os pelotões podem ser homogéneos ou mistos, quer sejam constituídos por

apenas um tipo de veículos ou por uma combinação de veículos de passageiros e de mercadorias (CNH Industrial, 2016; The Guardian, 2016; ACEA, 2016; Janssen *et al.*, 2015). De referir que o foco desta Dissertação encontra-se apenas na vertente aplicada ao transporte de mercadorias.

Neste tipo de formação, os camiões têm a possibilidade de circular de forma segura a uma distância mais curta entre si visto que o tempo de reacção do sistema em caso de emergência é bastante inferior ao necessário para um condutor humano (Townsend, 2016), cerca de 25 vezes mais rápido (Mearian, 2016). Esta situação é conseguida através da utilização de sistemas de comunicação V2V e V2I (Bergenheim *et al.*, 2012), em conjunto com avançados sistemas de apoio à condução (Janssen *et al.*, 2015).

Janssen *et al.* (2015) prevêm uma implementação faseada do *platooning* em três etapas, utilizando pelotões de dois camiões. Esta cronologia encontra-se representada na Figura 8. Até à existência de um quadro legal favorável, inicialmente os camiões encontram-se equipados com sistemas de Nível 2 de automação, tal como o *Traffic Jam Assist* (estado avançado do sistema ACC, preparado para situações de congestionamento) e requerem a presença de dois motoristas activos, sendo que o primeiro motorista controla manualmente o seu veículo enquanto o segundo motorista mantém a sua atenção na estrada, controlando o desempenho dos sistemas de apoio à condução (Great Dane, 2016). Neste momento, ao nível das empresas será possível planear serviços de *platooning* para a realização do transporte de mercadorias, à semelhança do que acontece hoje em dia para os camiões convencionais (Frisoni *et al.*, 2016). Esta modalidade é também designada por *Driver Assisted Truck Platooning* (DATP) (Sia Partners, 2016).

Numa segunda fase, em pelotões com Nível 3 de automação, apenas o motorista do primeiro camião exerce uma condução activa. No pelotão, os camiões aceleram, travam ou mudam de direcção de forma automática e simultânea, de acordo com as indicações do veículo na dianteira, com base no sistema *Cooperative Adaptive Cruise Control* (CACC) (Talebpoor & Mahmassani, 2016). Ou seja, dado que estão em constante comunicação entre si, os veículos conseguem ajustar a sua velocidade e posição no pelotão de acordo com os *inputs* recebidos do veículo que lidera o pelotão. O condutor do primeiro camião controla todos os outros veículos no pelotão, no entanto, estes requerem um condutor a bordo para conduzir o veículo sempre que solicitados pelo sistema e em situações particulares, como nas entradas e saídas da autoestrada ou durante as operações nos cais de carga (Frisoni *et al.*, 2016; ATBS, n.d.).

Desta forma, esta solução de transporte permite que os condutores se revezem em turnos para o comando do pelotão, enquanto os restantes utilizam esse tempo para executar outras tarefas, como trabalho administrativo ou descansar, não existindo assim a necessidade de imobilizar o veículo durante os períodos de repouso dos motoristas. Aquando da aproximação à saída da autoestrada, os motoristas assumem o controlo dos veículos e separam-se do pelotão para se dirigirem até aos seus destinos finais. Nesta fase, à medida que a taxa de penetração do *platooning* aumente é expectável que se constituam pelotões com camiões de empresas diferentes, mediante a intervenção de um prestador de serviços especializado (Sia Partners, 2016).

Finalmente, numa última fase que apenas deverá ocorrer dentro de algumas décadas, o pelotão é liderado apenas por um motorista no primeiro veículo (Níveis 4 e 5), sendo que o(s) outro(s) veículo(s) opera(m) autonomamente sem a necessidade de intervenção humana. Nesta fase, através da coordenação de um agente prestador de serviços *platooning* será possível formar pelotões “*on-the-fly*”, isto é, de forma dinâmica os veículos poderão integrar ou abandonar um pelotão durante o seu percurso em autoestrada. Desta etapa irão advir as poupanças mais significativas para as empresas, já que a juntar às poupanças de combustível inerentes ao *platooning* estão aquelas relativas aos custos laborais dos motoristas (Frisoni *et al.*, 2016; Janssen *et al.*, 2015).

Segundo Janssen *et al.* (2015) e Next Big Future (2015), espera-se que seja legalmente permitida a utilização comercial de pelotões de Níveis 2 e 3 e a sua implementação em larga escala a partir de 2020, sendo que pelotões com níveis de automação superiores (Níveis 4 e 5) não devem ser autorizados antes de 2030. A utilização do *platooning* deverá ainda requerer um novo tipo de licença para os motoristas, dadas as suas novas responsabilidades que poderão assumir à medida que a automação dos veículos aumente.

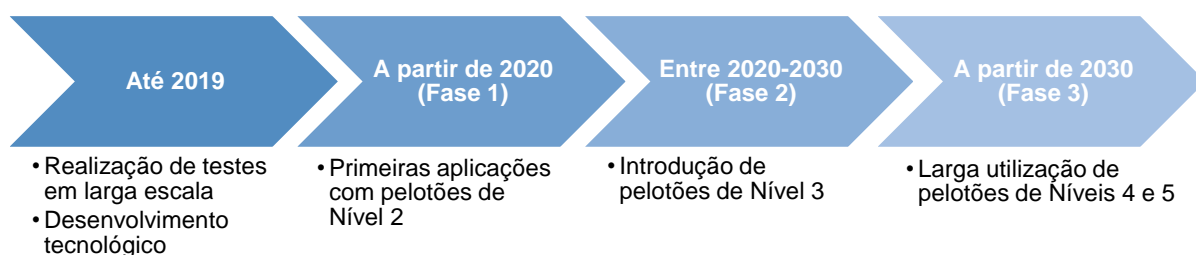


Figura 7 – Implementação do truck platooning na Europa (adaptado de Janssen *et al.*, 2015).

• Projectos

A maioria dos projectos dedicados a estudar veículos autónomos de mercadorias tem explorado o conceito de *platooning*, dado o seu potencial no que toca à eficiência no consumo de combustível, melhoria do fluxo do tráfego e da segurança rodoviária, e conforto dos motoristas (Van Meldert & De Boeck, 2016; Bergenheim *et al.*, 2012).

O conceito não é novo, sendo que a nível europeu os primeiros projectos financiados pela CE neste contexto foram o CHAUFFEUR I e II (1996 e 2003) (Institute for Automotive Engineering, n.d.). Entre 2005-2009, o Governo alemão financiou o KONVOI, dedicado a estudar o impacto do *platooning* no ambiente e no fluxo do tráfego com um pelotão formado por quatro camiões, completando mais de 3000 quilómetros em autoestradas públicas alemãs (Peters & Elston, 2012). O projecto SARTRE (2009-2012), apoiado pela CE, testou pelotões mistos com veículos de passageiros e de mercadorias, a fim de promover a sua utilização no transporte individual. No âmbito deste estudo resultou o primeiro teste realizado numa autoestrada pública, em Espanha, com um pelotão constituído por três automóveis e um camião, tendo percorrido 200 quilómetros (AJOT, 2016; Iliafar, 2012). No seguimento deste

projecto, o COMPANION (2013-2016) pretende estudar os requisitos práticos para a utilização do *platooning* nas operações diárias de transporte, como a formação e dissolução de pelotões em tempo real. Foram efectuados testes em autoestrada na Suécia e estão previstos testes em autoestradas públicas em Espanha durante 2016 (Frisoni *et al.*, 2016; COMPANION, n.d.). Finalmente, na Suécia a Scania, em parceria com o governo sueco (o qual financiou parcialmente os projectos) e outras entidades, desenvolveu dois projectos no âmbito do *platooning* – o *Distributed Control of a Heavy Duty Vehicle Platoon* e o iQFleet (2011-2014) – com vista ao estudo do controlo dos veículos dentro do pelotão, da eficiência energética do pelotão e da influência das condições do tráfego no pelotão (Bergenheim *et al.*, 2012; Mårtensson *et al.*, 2011).

Nos EUA, um dos eventos pioneiros em *platooning* foi realizado no âmbito do projecto PATH, quando em 1994 foi testado um pelotão de quatro automóveis a circular em velocidade de autoestrada, e em 1998 um pelotão de oito automóveis (Bergenheim *et al.*, 2012). No Japão, o projecto mais relevante neste campo foi o Energy ITS (2008-2012), com o objectivo de estudar a eficiência energética do *platooning*, pela redução do consumo de combustível e das emissões poluentes (Peters & Elston, 2012).

A maioria da investigação realizada no âmbito do *platooning* tem recaído sobre a eficiência no consumo de combustível e na redução das emissões poluentes, tendo apresentado resultados bastante positivos. No entanto, outros factores permanecem por demonstrar, tal como o impacto que o *platooning* terá no restante tráfego, nomeadamente junto a nós críticos da infraestrutura, como entradas e saídas das autoestradas (European Union, 2016c).

- **Testes reais de estrada**

Em Fevereiro de 2015, a Scania em parceria com a *Transport and Logistics Netherlands* (TLN) levou a cabo um teste numa autoestrada na Holanda, com um pelotão de três camiões. Todos os veículos tinham presente um condutor responsável por controlar a sua direcção, ao passo que o veículo na dianteira do pelotão controlava a aceleração e travagem dos restantes camiões. Este foi o primeiro teste do género na Holanda (Hottentot *et al.*, 2015).

Em Março de 2015, a DAF em conjunto com a organização *Netherlands Organisation for Applied Scientific Research* (TNO) promoveu uma demonstração numa estrada nacional holandesa com um pelotão constituído por dois camiões, no âmbito do projecto “*EcoTwin*”. Os camiões circularam a uma distância de cerca de 10 metros entre si, ligados via *wireless*, sendo que o segundo camião operou de forma semi-autónoma, ou seja, apesar da presença de um condutor no veículo para garantir a segurança do mesmo, o sistema controlou a direcção, aceleração e travagem do veículo (DAF & TNO, 2015).

Em Março de 2016, a Daimler foi responsável por uma exibição desta tecnologia numa autoestrada perto de Düsseldorf, Alemanha, fazendo circular um pelotão de três camiões ligados via WiFi (sistema

Highway Pilot Connect) e distanciados de 15 metros entre si, em condições reais de tráfego. Esta foi a primeira experiência mundial de utilização do *truck platooning* em autoestradas públicas (Daimler, 2016). O camião na frente do pelotão assumiu o controlo em termos de direcção, aceleração e travagem dos restantes camiões do pelotão (Mele, 2016), tendo estes operado de forma semi-autónoma; os condutores permaneceram na cabine e assumiram o controlo do veículo sempre que solicitados (Menzies, 2016). Durante esta demonstração foi também testada a introdução de um automóvel entre o segundo e o terceiro camiões, os quais reagiram aumentando a distância entre eles para 50 metros enquanto o veículo não abandonou a via. Nesse momento, os camiões ajustaram automaticamente o intervalo para os 15 metros iniciais, sem que fosse necessária qualquer indicação dos condutores (Mele, 2016).

Em Abril de 2016, o Ministério das Infraestruturas e do Ambiente holandês, no âmbito da presidência holandesa da UE, promoveu uma iniciativa – *Truck Platooning Challenge* – com o intuito de promover as vantagens do *truck platooning* e a colaboração entre os Estados Membros, os fabricantes, os operadores logísticos, as autoridades rodoviárias e os governos, de forma a impulsionar a introdução desta tecnologia na Europa (European Union, 2016c; CNH Industrial, 2016). Assim, um conjunto de seis pelotões constituídos por camiões semi-autónomos (The Guardian, 2016) partiu de várias cidades europeias com destino ao Porto de Roterdão, tendo sido o primeiro evento transfronteiriço a envolver este tipo de veículos (European Union, 2016e). Na organização deste projecto estiveram envolvidos Governos, autoridades rodoviárias e grupos de consumidores de seis países (Mearian, 2016), bem como seis dos maiores fabricantes europeus de camiões – DAF, Daimler, Iveco, MAN, Scania e Volvo (The Guardian, 2016). A Scania percorreu cerca de 1450 quilómetros e atravessou a fronteira de quatro países, tendo sido o pelotão a completar a maior distância (Mearian, 2016; Scania, 2016).

Em Maio de 2016, a Peloton Technology realizou um teste numa autoestrada no Estado do Nevada, EUA, no qual dois camiões circularam em pelotão ligados através do sistema de *truck platooning* da Peloton (Transport Topics, 2014). Os camiões mantiveram uma distância de 10 metros entre si, sendo que o veículo dianteiro foi controlado manualmente pelo seu condutor, ao passo que o camião seguinte foi operado por um sistema computadorizado com o controlo da aceleração e travagem, estando o controlo da direcção a cargo do seu condutor (Knight, 2014). Desta forma, os sistemas integrados nestes camiões são de Nível 2 de automação.

2.5. Ganhos potenciais da utilização de Veículos Autónomos

A introdução de veículos com tecnologia de condução autónoma nas estradas públicas, em particular os veículos de transporte de mercadorias, acarreta consigo benefícios com impacto em dois prismas principais: para as empresas de transporte e operadores logísticos – pela melhoria das condições de trabalho dos motoristas, melhoria da sua produtividade e redução de custos com combustível e com veículos envolvidos em sinistros – e para a sociedade – pela redução do impacto ambiental e pela melhoria da segurança rodoviária e do fluxo do tráfego (Roland Berger, 2016).

Na Europa, os motoristas que efectuam transporte internacional de mercadorias estão abrangidos por uma legislação bastante exigente, que obriga à realização de um período de 45 minutos de descanso a cada 4 horas e meia de condução, limitando-os a um máximo diário de condução de 9 horas com períodos de repouso mínimos de 11 horas (European Union, 2014). É por isso evidente a preocupação da CE em garantir a boa condição física e psicológica dos motoristas durante o trabalho, dado o desgaste provocado nos mesmos por este tipo de serviço, que requer atenção constante num percurso muitas vezes monótono. Consequentemente, a fadiga é o factor responsável por cerca de um quinto dos acidentes envolvendo veículos pesados de mercadorias (Comissão Europeia, 2014a) e, actualmente, cerca de 90% dos acidentes rodoviários são causados por falha humana (Bernhart, 2016; Mearian, 2016; Almqvist & Heinig, 2013).

Testes realizados demonstram que a sonolência do condutor é reduzida em 25% sempre que sistemas de condução autónoma são activados (Lockridge, 2015). Assim, a introdução destes sistemas nos veículos irá traduzir-se num apoio significativo à condução, ajudando a compensar eventuais distrações do motorista ou tomando decisões por si com base na informação monitorizada quer na envolvente do veículo, quer no estado de atenção do condutor. Por exemplo, na ausência de reacção por parte do motorista aos alertas emitidos pelo sistema, este pode imobilizar o veículo de forma segura até à berma da estrada. Por consequência, para além desta tecnologia ajudar a reduzir não só o número de acidentes ocorridos como também a gravidade dos seus danos, esta encerra em si o potencial de mitigar mesmo a sua ocorrência (Che, 2015; Heutger & Kückelhaus, 2014; Comissão Europeia, 2011a). SARTRE (2013) aponta uma redução de 50% dos acidentes rodoviários utilizando a modalidade de *platooning*.

Além disso, a utilização de veículos com elevado nível de automação permitiria facilitar a legislação aplicada aos motoristas prescindindo da obrigação de realizar períodos de repouso, aumentando assim a taxa de utilização do veículo, a rapidez com que os camiões chegam aos seus destinos e a realização de um maior número de serviços (Tavasszy, 2016; Andersen, 2015; Janssen *et al.*, 2015). Tavasszy (2016) estima que a utilização de um pelotão de dois camiões, circulando a 80 km/h e partilhando a liderança do pelotão em metade do percurso, permitirá cobrir diariamente 960 quilómetros, ao invés dos 720 quilómetros actualmente possíveis pela legislação em vigor. A partir do momento em que estejam reunidas as condições para que não sejam necessários condutores a bordo (Nível 5), a utilização de camiões totalmente autónomos também reduzirá em grande medida os custos para as empresas de transporte (Andersen, 2015).

No que respeita à utilização da infraestrutura, dada a tendência crescente no volume de mercadorias transportado através do modo rodoviário é expectável que se traduza no aumento do congestionamento do tráfego durante os próximos anos, não sendo assim um cenário sustentável quer ao nível das emissões poluentes, quer pelo investimento necessário na infraestrutura. Os veículos autónomos têm o potencial de melhorar a eficiência no transporte, melhorando a utilização da capacidade da rede viária dado que os veículos ocupam menos espaço da estrada, levando a menos congestionamento (European Union, 2016e; Newbold, 2016b). Por outro lado, o facto da tecnologia de condução autónoma permitir a realização de uma condução mais segura, eventualmente utilizando vias mais

estreitas, pode traduzir-se numa redução de custos no planeamento de novas infraestruturas (Nowakowski, Shladover & Tan, 2015; Bunghez, 2015). Segundo Kuehn & Reiner (2016) e Andersen (2015), a capacidade de uma autoestrada pode ser incrementada em 200% ou mais através da utilização do sistema *platooning*, sendo que numa primeira fase de implementação é expectável que esta capacidade aumente até 50%, de acordo com Nowak *et al.* (2016). Sia Partners (2016) refere um aumento na capacidade da autoestrada em mais de 30% considerando um pelotão de dois camiões. Atendendo às conclusões resultantes do projecto PATH, a utilização de pelotões de três camiões permitirá duplicar a capacidade da autoestrada em comparação à circulação individual de camiões, para os 1500 camiões/hora/via (Bergenheim *et al.*, 2012).

No campo da eficiência energética, o crescente nível de automação presente nos veículos poderá levar os fabricantes a redefinir o conceito dos veículos em termos de *design* e materiais utilizados, tornando-os mais leves e, conseqüentemente, mais eficientes no consumo de combustível e nas emissões poluentes produzidas (European Union, 2016e). Por outro lado, os sistemas incluídos no veículo, em particular o ACC, permitem tornar a condução mais eficiente pela possibilidade de manter uma velocidade constante, optimizando o consumo de combustível (Bullis, 2011).

No caso do sistema de *truck platooning*, os ganhos de eficiência são ainda mais significativos. O facto de os veículos conseguirem viajar a uma velocidade constante e com uma distância mais reduzida entre si leva a uma diminuição da resistência aerodinâmica sentida pelos veículos no pelotão, o que se traduz num consumo mais eficiente e redução das emissões de CO₂ (European Union, 2016c; In The Black, 2016; Roland Berger, 2016; Bullis, 2011). Nowak *et al.* (2016) refere uma poupança média dos custos de combustível até 11%, num pelotão com três camiões. Estes ganhos de eficiência são observáveis em diferente medida em todos os veículos do pelotão e dependem de diversos factores, tais como o intervalo entre veículos, a velocidade, o número de veículos e a sua posição no pelotão, a temperatura ambiente e o peso da carga transportada (Great Dane, 2016; NREL, n.d.).

Em particular, a distância entre veículos tem uma influência directa nas reduções observadas. De uma forma geral, uma redução na distância entre veículos leva a uma diminuição do combustível consumido (Davila, 2013; Browand *et al.*, 2004). Segundo SARTRE (2013), a distância óptima encontra-se entre os 6 e os 8 metros. Mesmo as reduções mais pequenas no consumo de combustível podem representar poupanças anuais relevantes quando avaliadas ao nível das empresas (Baratta Jr, 2015; Nowakowski *et al.*, 2015), tendo em conta que o combustível constitui cerca de 40% dos custos totais de operação (Bishop *et al.*, 2015; Mtoi, 2015), e entre 35 a 40% do Custo Total de Propriedade (Iveco, 2016b). Nos Quadros 4 e 5 encontram-se descritos alguns valores referidos na Literatura para as reduções verificadas ao nível do consumo de combustível e das emissões poluentes produzidas.

Quadro 4 – Redução do consumo de combustível com camiões autónomos/*platooning*.

Referência	Poupança de combustível	Solução de automação	Características	Contexto
Baratta Jr (2015)	4-7%	Veículos autónomos	-	-
Daimler (n.d.-b)	Até 5%	Veículo autónomo	<ul style="list-style-type: none"> Mercedes-Benz Future Truck 2025. 	-
Freightliner (n.d.)	Até 1.5%	Veículo autónomo	<ul style="list-style-type: none"> Freightliner Inspiration. 	-
van Haegen (2016)	5-15%	<i>Platooning</i>	-	Testes
Murgia (2016)	Até 10%	<i>Platooning</i>	-	-
Gitlin (2016)	Até 10%	<i>Platooning</i>	-	-
Bullis (2011)	10-15%	<i>Platooning</i>	<ul style="list-style-type: none"> Distância de 4 m entre camiões. 	-
Andersen (2015)	<ul style="list-style-type: none"> 8% no 1º camião 13% no 2º camião 	<i>Platooning</i>	<ul style="list-style-type: none"> Pelotão de 2 camiões. 	-
Roeth (2013)	<ul style="list-style-type: none"> 4.5% no 1º camião 10% no 2º camião 	<i>Platooning</i>	<ul style="list-style-type: none"> Pelotão de 2 camiões. 	Teste em autoestrada, com condições reais de tráfego.
Scania (2015)	Até 12%	<i>Platooning</i>	<ul style="list-style-type: none"> Distância de 10 m entre camiões. 	Pista de testes.
Goodwin (2015)	5-6%	<i>Platooning</i>	<ul style="list-style-type: none"> Pelotão de 3-5 camiões; Distância de 8 m entre camiões. 	-
Daimler (n.d.-a)	<ul style="list-style-type: none"> 2% no 1º camião 11% no 2º camião 9% no último camião 	<i>Platooning</i>	<ul style="list-style-type: none"> Pelotão de 3 camiões; Distância de 15 m entre camiões; 40 ton de peso bruto; Velocidade de 80 km/h. 	Pista de testes.
ERTRAC (2015)	10-15%	<i>Platooning</i>	<ul style="list-style-type: none"> Pelotão de 2 camiões. 	-
DAF (2016)	Até 10%	<i>Platooning</i>	<ul style="list-style-type: none"> Pelotão de 2 camiões; Distância de 10 m entre camiões; Velocidade de 80 km/h. 	-

Quadro 4 – Redução do consumo de combustível com camiões autónomos/*platooning* (continuação).

Referência	Poupança de combustível	Solução de automação	Características	Contexto
SARTRE (2013)	7-15%	<i>Platooning</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Pelotão misto de 5 veículos; • Distância de 8 m entre veículos. 	Pista de testes.
Lammert (2015)	<ul style="list-style-type: none"> • Até 5.3% no 1º camião • Até 9.7% no 2º camião 	<i>Platooning</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Pelotão de 2 camiões; • Velocidade de 100 km/h. • Distâncias de 6-22 m entre camiões; • 30-36 ton de peso bruto. 	Pista de testes.
Center for Transportation Safety (2016)	<ul style="list-style-type: none"> • Até 12% (em média) 	<i>Platooning</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Pelotão de 2 camiões; • Velocidade de 60 km/h. 	Pista de testes.
Browand <i>et al.</i> (2004)	<ul style="list-style-type: none"> • 6% no 1º camião; 10% no 2º camião. • 5-10% no 1º camião; 10-12% no 2º camião. 	<i>Platooning</i>	<p>Pelotão de 2 camiões, separados de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 10 m; • 3-10 m. 	Pista de testes com 2.4 km de comprimento.
Tsugawa (2013)	<ul style="list-style-type: none"> • 13.7% • 15.9% 	<i>Platooning</i>	<p>Pelotão de 3 camiões com uma velocidade de 80 km/h, separados de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 10 m; • 4.7 m. 	Pista de testes.

Quadro 5 – Redução das emissões poluentes com camiões autónomos/*platooning*.

Referência	Redução de emissões de CO ₂	Solução de automação	Características	Contexto
Wyke (2015)	Pelo menos 5%	Veículo autónomo	<ul style="list-style-type: none"> • Mercedes-Benz Actros. 	Teste em autoestrada, com condições reais de tráfego.

Quadro 5 – Redução das emissões poluentes com caminhões autônomos/*platooning* (continuação).

Referência	Redução de emissões de CO ₂	Solução de automação	Características	Contexto
Daimler (n.d.-a)	5%	<i>Platooning</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Pelotão de 3 caminhões; • Distância de 15 m entre caminhões; • 40 ton de peso bruto; • Velocidade de 80 km/h. 	Pista de testes.
DAF (2016)	Até 10%	<i>Platooning</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Pelotão de 2 caminhões; • Distância de 10 m entre caminhões; • Velocidade de 80 km/h. 	-
CNH Industrial (2016)	Até 10%	<i>Platooning</i>	-	-
ACEA (2016)	Até 10%	<i>Platooning</i>	-	-
Kisaco Research (2015)	20-25%	<i>Platooning</i>	-	-
Tsugawa (2013)	<ul style="list-style-type: none"> • 2.1% • 4.8% 	<i>Platooning</i>	Pelotão de 3 caminhões com uma velocidade de 80 km/h, separados de: <ul style="list-style-type: none"> • 10 m; • 4 m. 	

2.6. Barreiras à implementação de Veículos Autônomos

Para além da legislação vigente a nível europeu e em cada Estado Membro representar a principal barreira à implementação generalizada de veículos com tecnologia de condução autónoma, outras questões relevantes deverão ser consideradas neste âmbito para que este processo seja bem-sucedido.

• Responsabilidade

Os sistemas utilizados nestes caminhões constituem tecnologia bastante avançada, no entanto, muitos deles já se encontram implementados nos nossos veículos desde há alguns anos a esta parte. Actualmente, sendo os sistemas disponíveis no mercado até ao Nível 2 de automação e dado que a legislação exige a presença de um condutor no veículo, na maioria dos Estados Membros a

responsabilidade está associada a essa pessoa ou ao proprietário do veículo, por danos pessoais e materiais causados a terceiros, ou ao fabricante do veículo, no caso da existência de defeitos construtivos (Frisoni *et al.*, 2016; Heutger & Kückelhaus, 2014). Segundo Gitlin (2016), em veículos com Nível 3 de automação, que corresponde ao nível a implementar durante os próximos anos (Lumiaho & Malin, 2016), a responsabilidade está igualmente atribuída ao condutor. Para níveis superiores, a questão de fundo passa por decidir confiar a tarefa da condução a um sistema computadorizado (P&S Transportation, 2016).

É essencial, para isso, clarificar e atribuir a responsabilidade em caso de acidentes envolvendo veículos com tecnologia de condução autónoma: será do fabricante do veículo? Do programador do *software* instalado no veículo? Do condutor? (Janssen *et al.*, 2015). Além destas questões, é relevante discutir quem se encontra habilitado a operar um veículo autónomo numa estrada pública, bem como o tipo de homologação que estes veículos requerem de forma a garantir os padrões mínimos de segurança (The Boston Consulting Group, n.d.).

O exemplo mais mediático, o veículo autónomo da Google que opera sem a necessidade de um condutor, já percorreu mais de 1.5 milhões de quilómetros em testes reais de estrada, desde 2009. Até à data, os 14 sinistros em que este veículo esteve envolvido tiveram sempre falha humana como causa do acidente (Frisoni *et al.*, 2016).

Segundo um estudo da CE, a discussão em torno da responsabilidade deverá passar, em primeiro lugar, pela definição clara dos níveis de automação envolvidos na condução. Para isso, deverá ser alcançado um consenso entre os *stakeholders* envolvidos no que respeita aos níveis de segurança destes sistemas e, por outro lado, a nível internacional deverão ser regulamentados os requisitos de segurança para a realização de testes de veículos com nível de automação superior. Em relação aos sistemas cooperativos, como o *platooning*, é importante definir não apenas os direitos e deveres das partes envolvidas, como também monitorizar e reportar os eventos durante o serviço, para aferição de responsabilidades (Yen & Lyoen, 2012).

Frisoni *et al.* (2016), Munich RE (2016), Anderson *et al.* (2016), Heutger & Kückelhaus (2014) e Yen & Lyoen (2012) prevêem que a responsabilidade pelos danos causados transite progressivamente do condutor para o fabricante, à medida que o nível de automação presente no veículo seja superior, para que este prove que não foi o responsável pela causa do acidente (Insurance Information Institute, 2016). Numa demonstração de confiança em relação aos seus produtos, alguns fabricantes já fizeram saber que irão assumir total responsabilidade pelos danos causados pelos seus veículos, sempre que estes se encontrem em modo de condução autónoma (Gorzelay, 2015).

Segundo o Ministério dos Transportes da Finlândia, a questão da responsabilidade não deve ser sobrevalorizada e vista como um entrave à progressão tecnológica. Refere o modelo do seguro automóvel finlandês como um exemplo a seguir a nível internacional, o qual exige ao proprietário ou ao titular do veículo que possua um seguro para o mesmo e abrange quer os danos pessoais e materiais provocados a terceiros, quer os danos pessoais do condutor (Pilli-Sihvola *et al.*, 2015).

Tal como sucedeu anteriormente com a implementação de outras tecnologias, o apoio da indústria seguradora pode ajudar a que as tecnologias de automação de veículos sejam implementadas de forma mais rápida. Se inicialmente esta indústria colaborou na introdução nos veículos de diversas características para minimizar os danos envolvidos, como o cinto de segurança, o ABS ou os *airbags*, nos próximos anos poderá desempenhar um papel essencial para a mitigação dos acidentes rodoviários.

Inicialmente, durante a transição até à automação total, as companhias de seguros devem apoiar-se em dispositivos telemáticos instalados nos veículos, visto que estes registam os hábitos de condução do condutor (Insurance Information Institute, 2016). Por exemplo, a Alemanha prevê o lançamento de legislação que exija por parte dos fabricantes a inclusão de uma “caixa negra” nos veículos, para melhor compreensão dos eventos ocorridos, apoio em situações de litígio e atribuição de responsabilidades (Reuters, 2016; Huff, 2015).

Bertoncello & Wee (2015) referem que as companhias poderão também segurar os fabricantes, cobrindo eventuais falhas técnicas dos seus veículos como causa do acidente. Por enquanto, ainda não são claras as alterações que os veículos autónomos irão provocar nas políticas das empresas seguradoras, embora o seu potencial para aumentar a segurança rodoviária seja um forte incentivo para a sua aceitação (Munich RE, 2016; Baratta Jr, 2015). Não obstante, à medida que a tecnologia presente nos veículos se torne cada vez mais madura e acessível no mercado, as seguradoras poderão determinar de forma mais expedita a sua influência na redução dos custos envolvidos em acidentes rodoviários e é provável que os prémios do seguro automóvel venham a diminuir, enquanto outros prémios aumentem, por exemplo pelo risco de ataques informáticos (Frisoni *et al.*, 2016; Williams, 2014).

- **Condições adversas**

Em Maio de 2016, registou-se a primeira vítima mortal até à data envolvendo um veículo com tecnologia de condução autónoma, quando o sistema de piloto automático do Tesla *Model S* não distinguiu entre a cor branca de um semi-reboque e um céu brilhante, embatendo num camião (Yadron & Tynan, 2016).

Antes desta tecnologia poder ser disponibilizada aos clientes, os fabricantes ainda terão a necessidade de executar vários testes de forma a garantir que funciona em todos os locais possíveis e condições climatéricas adversas, tais como chuva intensa, neve ou temperaturas extremas (Davies, 2015). De acordo com Kilcarr (2016), este representa o factor mais condicionante para a aceitação de veículos autónomos por parte dos gestores de frota.

- **Requisitos tecnológicos**

Os sistemas de comunicação utilizados nos veículos, nomeadamente o sistema V2V que permite a comunicação entre veículos, requer um consenso entre os fabricantes relativamente à tecnologia e protocolos de troca de informação utilizados, para que estes sejam comuns entre veículos (Glielmo, 2011). Desta forma, será necessário criar sistemas que permitam a comunicação entre veículos de diferentes fabricantes (The Guardian, 2016), bem como a modernização das frotas para que sejam compatíveis com os modelos mais recentes e seja possível a formação de pelotões entre si (Mearian, 2016; Nordic Logistics Association, 2016). No que respeita à comunicação entre o veículo e a infraestrutura ou outro qualquer terminal, será igualmente necessário definir e standardizar os requisitos técnicos utilizados (Pillath, 2016).

- **Custos elevados**

Apesar de ainda não se encontrar perfeitamente quantificado prevê-se que o custo envolvido no fabrico de um veículo autónomo seja bastante elevado numa fase inicial, dada toda a tecnologia envolvida e os requisitos de qualidade e segurança que esta deverá garantir. Com a distribuição em massa deste tipo de veículos é expectável que o seu custo venha a diminuir (Litman, 2014). Janssen *et al.* (2015) referem que, actualmente, o custo adicional pela introdução dessa tecnologia nos veículos ronda os 10 000€ por camião, tendo esta um período de depreciação médio de 7 anos. No futuro prevêem que este custo diminua para cerca de 2000€. Relativamente ao *platooning*, a mesma fonte demonstra que os benefícios da sua utilização superam os custos de investimento iniciais, no seu estudo aplicado a três operadores logísticos holandeses.

- **Opinião pública**

Um estudo conduzido pela CE revela que apenas 35% dos inquiridos se sentiria confortável ao viajar num veículo autónomo, ao passo que 42% aceitaria esta solução aplicada ao transporte de mercadorias (TNS Opinion & Social, 2015).

De uma maneira geral, a opinião pública revela-se céptica relativamente a novas tecnologias. Desta forma, constitui um factor relevante na rapidez com que esta tecnologia se irá implementar (Baratta Jr, 2015), devendo para isso ser informada e educada antecipadamente de forma clara por parte das autoridades públicas e dos *stakeholders* envolvidos sobre questões como a segurança dos utilizadores ou os impactos desta tecnologia a nível social, económico, ambiental, a fim de mitigar a existência de preconceitos contra a mesma (Janssen *et al.*, 2015).

- **Postos de trabalho**

Apesar da percepção generalizada de que estas novas tecnologias de automação dos veículos representam uma ameaça aos postos de trabalho dos motoristas, os fabricantes afirmam que estes serão necessários, pelo menos, durante a próxima década. Ao invés, a tecnologia será implementada de forma progressiva, com o objectivo de tornar a experiência da condução mais segura e confortável para os motoristas (Newbold, 2016a). Por outro lado, actualmente e no curto prazo os fabricantes estão focados na introdução no mercado de veículos de Nível 3 de automação, nos quais a presença do condutor é essencial (Lockridge, 2015).

Esta tecnologia pode ser uma solução para a escassez de motoristas que se verifica actualmente e se prevê que continue a agravar-se durante os próximos anos. Numa primeira fase, reduzindo os requisitos necessários para a obtenção de uma licença de condução por parte dos motoristas e tornando a profissão mais atractiva para as gerações mais jovens e, posteriormente, prescindindo da presença de um motorista em cada veículo.

A presença de avançados sistemas que realizem uma condução (semi) autónoma do veículo irá melhorar significativamente o tipo de trabalho desenvolvido pelos motoristas, retirando-lhes o fardo da condução em percursos monótonos. Além disso, levará a ganhos de produtividade já que permite que estes executem outras funções durante esse período, tais como o planeamento de novos serviços, efectuar contactos ou processar documentação (Davies, 2015; Mercedes-Benz, 2014a).

Futuramente, aquando da implementação de camiões totalmente autónomos que não requeiram a presença de um motorista a bordo é expectável que os motoristas desempenhem novas funções, como serviços de *“last mile delivery”*, o que lhes permitirá trabalhar mais próximo das suas áreas de residência (Kuehn & Reiner, 2016). Algumas fontes afirmam ainda que a circulação de camiões totalmente autónomos poderá também ter impacto nas economias locais e nos sectores que dependem da actividade dos motoristas (Van Meldert & De Boeck, 2016; Solon, 2016; Santens, 2015), referindo que a profissão de motorista é a mais comum na maioria dos Estados norte-americanos. O estudo mais detalhado dessa problemática não se inclui nos objectivos desta Dissertação.

2.7. Impactos na Cadeia de Abastecimento

A chegada de veículos com tecnologia de condução autónoma irá transformar não só a forma como a cadeia logística opera actualmente, em particular no transporte de mercadorias de longo curso, mas também a forma como os intervenientes se irão dispor em termos espaciais. Esta inovação pode representar uma vantagem significativa para todos os intervenientes na Cadeia, desde fornecedores, transportadores, fabricantes dos próprios veículos, consumidores finais, até às entidades legisladoras. Para isso, é necessária a participação sinérgica de todos os *stakeholders* focada na sua implementação. No entanto, para os intervenientes que não se preparem atempadamente para esta

nova realidade, esta chegada pode constituir riscos à sua permanência no mercado (Nowak *et al.*, 2016).

Segundo Nowak *et al.* (2016), por volta de 2025 a utilização destes veículos irá estar associada com a digitalização da Cadeia de Abastecimento. Isto é, baseada no conceito de “conectividade” a introdução das novas tecnologias digitais permitirá não só a troca de informação entre veículos e entre estes e a infraestrutura (com as vantagens já referidas na secção 2.2.2.), como também o controlo preciso por parte dos intervenientes em relação aos horários de chegada dos carregamentos, ou a associação automática de carregamentos a camiões com espaço disponível. À medida que estas tecnologias sejam implementadas, novos *players* podem entrar no mercado, como é o caso das empresas tecnológicas, oferecendo os seus próprios camiões e plataformas logísticas, assentes em novos modelos de negócio baseados em aplicações *mobile*. Ainda, a utilização de tecnologia digital permitirá monitorizar em tempo real o estado de conservação dos camiões e estabelecer assim um plano de manutenção mais eficiente, prolongando o tempo de vida útil dos camiões e possibilitando às empresas poupar até 5% em custos de manutenção (Singh, 2016).

No caso dos fornecedores, estes podem desempenhar um papel fundamental na promoção do *platooning*, em particular. Uma vez que esta solução permite reduzir o consumo de combustível é expectável que o custo do transporte tenda a diminuir nestes casos, entre 10 a 20% no caso da aplicação do *platooning*, e até 50% se os camiões forem totalmente autónomos de acordo com Steffens (2016), tendo em conta que à redução de combustível se junta a poupança com os custos laborais dos motoristas. Assim, os fornecedores deverão ter preferência pelas empresas que disponibilizem este tipo de serviço, sendo um incentivo para a sua adopção por parte das mesmas.

Por outro lado, os consumidores finais poderão também beneficiar desta redução no custo do transporte. Com a utilização generalizada de camiões autónomos é expectável uma descida no preço dos produtos e melhoria do nível de vida (Transparency Market Research, 2016; Goodwin, 2015).

Os transportadores e operadores logísticos podem retirar grandes benefícios pelo recurso à utilização de camiões com tecnologia de condução autónoma e ao *platooning* (já descritos na secção 2.5.), quer programado dentro da mesma empresa quer através da associação entre empresas transportadoras. Esta situação levará a uma mudança da realidade actual, nomeadamente pela redefinição do planeamento das rotas em vigor, criação de novos modelos de negócio – como por exemplo armazéns com funções automatizadas de carga e descarga, ou repartição de custos em serviços de *platooning* entre empresas diferentes (Roland Berger, 2016; Sharman, 2015) – e o aparecimento de um agente prestador de serviços *platooning*, responsável por agregar num pelotão camiões de diferentes transportadoras que efectuem percursos comuns, garantindo todo o trabalho administrativo e que todos os trâmites legais são cumpridos. A intervenção deste agente será relevante durante a segunda e terceira fases de implementação do *platooning*.

Para os fabricantes de camiões, o facto de serem os primeiros a disponibilizar veículos com tecnologia de condução autónoma, designadamente capazes de integrar pelotões, poderá traduzir-se numa maior quota de mercado, vantagens sob o ponto de vista do *marketing* da empresa e a acumulação de *know-*

how relativamente aos requisitos e regulamentação aplicada a veículos autónomos (Janssen *et al.*, 2015).

Em relação às entidades legisladoras e governativas, apesar de não integrarem directamente a Cadeia de Abastecimento, o seu papel será crucial para o desenvolvimento destas soluções, criando as bases legais necessárias para a sua implementação. Estabelecidas estas condições nas regiões que administram, estas entidades poderão beneficiar da alocação de fundos comunitários destinados ao desenvolvimento destas tecnologias, de uma melhor utilização da infraestruturas existente e de um sistema de transportes mais sustentável. Por outro lado, a promoção da imagem de uma região aberta à inovação poderá ser um factor diferenciador para reforço da sua competitividade, nomeadamente através da fixação de novas empresas e geração de novos fluxos de negócio (Janssen *et al.*, 2015). Quanto aos gestores da infraestruturas rodoviária, ainda não é consensual a forma como irão integrar os camiões autónomos no restante fluxo de tráfego (Sharman, 2015).

De acordo com Williams (2014) a redução nos custos de transporte irá conduzir ao aparecimento de novos paradigmas para fornecedores, operadores logísticos e transportadores, quer no que respeita à localização das suas instalações (maior ou menor proximidade a clientes), quer na política de encomendas (frequência *versus* quantidade), sobretudo na fase em que não seja requerida a presença de um motorista em cada veículo. Segundo Van Meldert & De Boeck (2016) o custo do transporte pode ser reduzido em 40% por quilómetro. Desta forma, será necessário redefinir espacialmente o número de instalações e a política de *stocks* das empresas, dada a flexibilidade e eficiência concedidas pela utilização de veículos autónomos (Bertoncello & Wee, 2015). Esta situação levará a que as empresas se foquem na gestão dos custos de inventário e de ocupação das instalações (CBRE, 2016).

Atendendo a Singh (2016), a carga armazenada pode ser diminuída em 50% e a área de armazém pode decrescer 30%, localizando centros de distribuição de menor dimensão mais próximo dos clientes e os principais *hubs* nos subúrbios urbanos. No entanto, considerando CBRE (2016) a redução nos custos de transporte irá traduzir-se numa diminuição do número de *hubs* necessários, dado o maior alcance espacial que a utilização de camiões autónomos permitirá cobrir. Estes serão de maior dimensão, situados em localizações mais remotas onde os custos de urbanização são inferiores e estarão preparados para a operação de camiões autónomos, em particular pelotões, quer sejam totalmente autónomos ou não, nomeadamente com espaços exteriores adaptados para o efeito. Por outro lado, as instalações destinadas às operações de "*last mile delivery*" irão assumir um papel preponderante na cadeia de abastecimento. Nowak *et al.* (2016) refere ainda que o tempo durante o qual a carga está armazenada nos centros de distribuição irá diminuir drasticamente, dada a troca permanente de informação ao longo de toda a Cadeia de Abastecimento.

Por último, o crescente nível de automação que se prevê aplicado ao transporte rodoviário de mercadorias, ao que tudo indica durante a próxima década, poderá representar uma ameaça ao desenvolvimento de outros modos de transporte visados pela CE, em particular na sua abordagem "*shift to rail*" com os objectivos estabelecidos para o modo ferroviário. A tecnologia de condução autónoma poderá reduzir os custos de transporte de tal forma que se torne um modo competitivo para

o transporte de longa distância em comparação com a ferrovia, retirando-lhe entre 20 a 30% da sua quota de mercado. Assim, atendendo aos valores acima referidos para a redução do custo do transporte rodoviário de mercadorias, o sector ferroviário necessitará de reforçar a sua competitividade através da integração deste tipo de tecnologia, nomeadamente pela redução significativa de custos e melhoria da qualidade do seu serviço (Kuehn & Reiner, 2016; Steffens, 2016). No Quadro 6 encontram-se resumidos os impactos expectáveis nas diversas entidades constituintes da Cadeia de Abastecimento, pela introdução de camiões autónomos.

Quadro 6 – Impactos da introdução de camiões autónomos na Cadeia de Abastecimento.

Entidade	Impacto
Cadeia de Abastecimento	<ul style="list-style-type: none"> • Utilização de camiões com tecnologia de condução autónoma associada à digitalização da cadeia de abastecimento; • Aparecimento/desaparecimento de alguns <i>players</i>; • Criação de novos modelos de negócio.
Produtores	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do custo do transporte; • Reformulação da política de encomendas (frequência Vs quantidade).
Transportadoras/Operadores Logísticos	<ul style="list-style-type: none"> • Redução dos custos com combustível; • Aumento da taxa de utilização dos veículos; • Redução dos custos derivados de acidentes rodoviários; • Redução dos custos de manutenção dos camiões; • Melhoria das condições de trabalho/productividade dos motoristas; • Redução dos custos laborais (Nível 5); • Redefinição de processos/planeamento de rotas; • Redução do tempo de armazenagem da carga? • Reformulação da proximidade dos armazéns/centros de distribuição em relação aos clientes? • Impacto nas características dos armazéns/centros de distribuição? • Redução do prémio do seguro automóvel?

Quadro 6 – Impactos da introdução de camiões autónomos na Cadeia de Abastecimento (continuação).

Entidade	Impacto
Motoristas	<ul style="list-style-type: none"> Melhoria das condições de trabalho/produktividade; Desempenho de novas funções durante a viagem (Níveis 3 e 4); Redução do número de motoristas necessário (Nível 5).
Prestador de Serviços <i>Platooning</i>	<ul style="list-style-type: none"> Nova entidade criada para gerir a formação de pelotões programados e <i>“on-the-fly”</i>, com camiões de diferentes empresas que tenham destinos idênticos.
Consumidores finais	<ul style="list-style-type: none"> Redução do preço dos produtos; Melhoria do nível de vida.
Fabricantes de veículos	<ul style="list-style-type: none"> Maior quota de mercado para os <i>early adopters</i>; Vantagens sob o ponto de vista do <i>marketing</i>; Acumulação de <i>know-how</i> relativamente a requisitos técnicos e regulamentação; Redefinição do <i>design</i> dos veículos e dos materiais utilizados.
Entidades legisladoras/governativas	<ul style="list-style-type: none"> Alocação de fundos comunitários; Melhor utilização da infraestrutura (aumento da capacidade); Sistema de transportes mais eficiente; Promoção da imagem de região aberta à inovação pode representar reforço da sua competitividade.
<ul style="list-style-type: none"> Sociedade Gestor da infraestrutura rodoviária 	<ul style="list-style-type: none"> Redução do impacto ambiental; Redução/mitigação do número de acidentes; Melhoria do fluxo de tráfego (redução do congestionamento); Melhor utilização da infraestrutura (aumento da capacidade); Redução do investimento em novas infraestruturas; Criação de vias dedicadas para a circulação de veículos autónomos?
Outros modos de transporte (modo ferroviário)	<ul style="list-style-type: none"> Perda de competitividade e quota de mercado?

2.8. Reflexão global sobre o Capítulo

A introdução de camiões com tecnologia de condução autónoma no sector da Logística, nomeadamente em aplicações *outdoor*, promete ser a inovação com maior poder de disrupção que o sector já experienciou até aos dias de hoje, com ganhos de eficiência significativos e alterações profundas na forma como a Cadeia de Abastecimento irá operar. Os seus impactos irão afectar todos os intervenientes na Cadeia. Um planeamento atempado por parte das empresas poderá representar um factor diferenciador num mercado cada vez mais competitivo. A questão não passa por discutir “se” estes veículos serão implementados nas nossas estradas, mas antes por saber “quando” esta situação se tornará uma realidade.

Apesar da atenção dos *media* privilegiar o debate acerca de veículos autónomos de transporte de passageiros, tem sido realizada investigação ao nível do transporte de mercadorias, em particular no transporte de longo curso. Até à sua implementação, algumas questões relevantes deverão ser resolvidas com o contributo de todos os *stakeholders* envolvidos. Nomeadamente, a revisão a nível nacional e a uniformização no espaço europeu da legislação aplicada a veículos autónomos, de modo a permitir a sua utilização sem entraves a nível transfronteiriço, é vista como o principal requisito para a implementação generalizada deste tipo de veículos, visto que a tecnologia já se encontra actualmente num avançado estado de desenvolvimento. Tendo em conta os consideráveis benefícios que a utilização de veículos autónomos produzirá também ao nível da sociedade, os governos serão encorajados a adaptar a legislação actual. Decorrendo os primeiros esforços neste sentido, existem ainda outras matérias por esclarecer, já abordadas nesta Dissertação.

Considerando as soluções de automação descritas na secção 2.4., os estudos nesta temática são efectuados principalmente por empresas do sector da logística, consultoras, empresas tecnológicas ou no âmbito de projectos financiados pela CE, recaindo sobretudo na modalidade de *truck platooning*, sendo que grande parte da informação não se encontra disponível no domínio público. Mais informação pode ser encontrada publicamente em *websites* da especialidade ou na imprensa mais reconhecida a nível internacional. Por outro lado, vários fabricantes de veículos têm desenvolvido camiões com tecnologia de condução autónoma, estudando estas soluções em pistas de testes ou exibindo-as nas primeiras demonstrações em autoestradas públicas em condições reais de tráfego.

De facto, a solução de *platooning* pode representar uma estratégia viável a médio e longo prazo para atingir as metas estipuladas pela CE, no seu *Whitepaper*, para o modo rodoviário. Particularmente, no decorrer dos diversos projectos têm sido estudados alguns indicadores, designadamente o consumo de combustível e as emissões poluentes produzidas, e apresentados valores para a optimização que a utilização de camiões com tecnologia de condução autónoma proporciona nestes campos. De uma forma geral, na literatura consultada estes valores variam aproximadamente entre os 5-15% para a redução do combustível consumido, e entre os 5-10% na diminuição das emissões poluentes, dependendo da solução de automação considerada.

Não obstante, verifica-se ainda uma significativa escassez de literatura científica em relação às duas soluções de automação referidas, existindo um vasto potencial de investigação em diversos domínios. Neste âmbito, o contributo da comunidade científica revela-se de extrema importância para uma informação mais rigorosa de todos os *stakeholders* incluídos, diferenciando-se de publicações que visem apenas a promoção comercial destes veículos. O Quadro 7 enumera alguns dos campos passíveis de estudo mais aprofundado no que respeita à utilização de camiões com tecnologia de condução autónoma e do *platooning*.

Quadro 7 – Potenciais áreas de investigação relacionadas com camiões autónomos/*platooning*.

Solução de automação	Área de estudo
<ul style="list-style-type: none"> • Camiões com tecnologia de condução autónoma • <i>Platooning</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Impactos na Cadeia de Abastecimento; • Interacção sistema-motorista; • Operação em condições climatéricas adversas e diferentes cenários; • Necessidades de infraestrutura; • Impacto na produtividade dos motoristas, considerando diferentes níveis de automação; • Novos sistemas de portagens e sua localização; • Manobras de confluência com o restante fluxo de tráfego; • Impacto no restante tráfego e em nós críticos da infraestrutura (e.g., entradas/saídas da autoestrada); • Determinação da eficiência no consumo de combustível e emissões poluentes produzidas em situações reais de tráfego (autoestradas públicas), considerando diferentes declives da via; • Quantificação dos custos associados (e.g., investimento, manutenção).
<p style="text-align: center;"><i>Platooning</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Standardização dos sistemas de comunicação V2V e V2I; • Novos modelos de negócio; • Impacto nos mecanismos de mitigação em caso de acidente (e.g., barreiras laterais de protecção); • Influência dos diversos factores (e.g., distância entre veículos, velocidade, número de veículos e sua posição no pelotão, temperatura ambiente, peso da carga transportada) nos níveis de eficiência verificados.

3. REVISÃO DA LITERATURA: OPTIMIZAÇÃO DE ROTAS

3.1. O *Vehicle Routing Problem* (VRP)

A complexidade das cadeias logísticas tem vindo a aumentar durante as últimas décadas. Dada a importância em reduzir custos operacionais, melhorar os níveis de serviço e diminuir os impactos ambientais (Hosny, 2011), as empresas dos sectores da Logística e do Transporte procuram e servem-se de ferramentas que lhes permitam a definição de uma rede de rotas eficiente e com o menor custo possível associado. Um dos principais métodos utilizados neste âmbito é o *Vehicle Routing Problem* (VRP). De acordo com Hall (2016), milhares de empresas recorrem ao VRP para este fim.

O *Vehicle Routing Problem* (VRP) é um problema de optimização combinatória, proposto inicialmente por Dantzig & Ramser (1959), que generaliza o *Traveling Salesman Problem* (TSP). O objectivo deste problema consiste na determinação de m rotas, minimizando o custo total de viagem, realizadas por uma frota de m veículos homogéneos, cada um com capacidade Q , que deve partir de um *depot* e servir um grupo de clientes dispersos geograficamente, respeitando as seguintes restrições (Cordeau *et al.*, 2007):

- I. cada cliente é visitado apenas uma vez por rota;
- II. cada rota começa e termina no *depot*;
- III. a procura total dos clientes visitados numa rota não excede a capacidade Q do veículo;
- IV. o comprimento de cada rota não excede um limite L predefinido.

De acordo com De Jaegere *et al.* (2014), o VRP clássico é também conhecido por *Capacitated VRP* (CVRP). A dimensão da frota pode ou não ser conhecida antes do início do processo, sendo uma variável de decisão no segundo caso (Kumar & Panneerselvam, 2012). Os clientes podem estar localizados nos nós (*Node Routing Problems*) ou nos arcos da rede (*Arc Routing Problems*) (De Jaegere *et al.*, 2014; Sbihi & Eglese, 2007).

De forma a estudar situações da vida real, organizando as relações existentes entre as diferentes entidades em análise, é comum a utilização de grafos como modelo matemático. A Teoria dos Grafos está associada aos métodos utilizados para a resolução do VRP e das suas variantes. Uma rede de transporte no VRP pode ser construída como sendo um grafo orientado ou não orientado. Assim, torna-se relevante esclarecer alguns conceitos básicos e definir a sua formulação no contexto do VRP (van Doremalen *et al.*, 2014; Cordeau *et al.*, 2007).

- **Grafo não orientado (VRP simétrico)**

Um grafo não orientado $G = (V, E)$ é constituído por um conjunto de vértices $V(X) = \{0, \dots, n\}$ e $E(X) \subseteq V(X) \times V(X)$ denota um conjunto de arestas formadas por pares de vértices adjacentes de V . A cada

aresta está associado um custo de viagem c_{ij} . A notação aplicada a uma aresta é definida como $\{v_1, v_2\} \in E(X)$ e, dado que o grafo é não orientado, $\{v_1, v_2\} = \{v_2, v_1\}$. Assim, a matriz de custos deste tipo de grafos é simétrica. No caso do VRP, a cada vértice $i \in V \setminus \{0\}$ corresponde um cliente com uma procura não negativa q_i , sendo que o vértice 0 representa o *depot*.

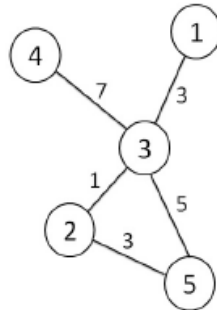


Figura 8 – Exemplo de grafo não orientado (fonte: van Doremalen *et al.*, 2014).

- **Grafo orientado (VRP assimétrico)**

Um grafo orientado $G = (V, A)$ é formado por um conjunto de nós $V(X) = \{0, \dots, n\}$ e um conjunto de arcos $A(X) \subseteq V(X) \times V(X)$. Um arco representa um par ordenado de nós, denotado por $(v_1, v_2) \in A(X)$, sendo que $(v_1, v_2) \neq (v_2, v_1)$. Neste caso, a matriz de custos é assimétrica. Assim, o custo de viagem associado a um determinado arco não é necessariamente igual nos dois sentidos.

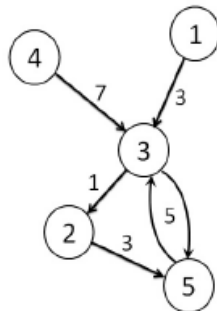


Figura 9 – Exemplo de grafo orientado (fonte: van Doremalen *et al.*, 2014).

3.2. Variantes ao VRP clássico

Tal como referido anteriormente, existem diversas variantes à versão clássica do VRP, formuladas tendo em conta a natureza dos bens transportados, o nível de serviço requerido ou as características dos clientes e dos veículos (Kumar & Panneerselvam, 2012).

Actualmente, devido à introdução e aos desenvolvimentos verificados nas tecnologias de informação e comunicação é possível integrar e actualizar continuamente os dados durante a realização da rota de um determinado veículo, aumentando a complexidade do problema. Neste caso em que a informação é conhecida durante o processo, o VRP é “dinâmico”. Esta variante é designada na Literatura por *Dynamic VRP (DVRP)* (também conhecido por *online* ou *real-time VRP*) (Gendreau *et al.*, 2006; Chen *et al.*, 2006). Em oposição, quando toda a informação é conhecida *a priori*, o VRP é designado por “estático”.

Algumas das principais variantes ao VRP encontradas na Literatura podem ser resumidas na lista seguinte:

- **Capacitated VRP (CVRP)** – quando existe uma restrição referente à capacidade dos veículos;
- **VRP with Time Windows (VRPTW)** – as entregas a um dado cliente devem ser realizadas dentro de um intervalo temporal (janela temporal) predefinido, que pode ser diferente de cliente para cliente. A restrição temporal pode também estar associada ao *depot*. As janelas temporais podem ser *hard* – quando não permitem que o cliente seja visitado fora do intervalo de tempo predefinido – ou *soft* – se for possível realizar o serviço fora do horário, mediante a atribuição de um custo de penalização;
- **Heterogeneous Fleet VRP (HFVRP)** – no caso de se tratar de uma frota de veículos com diferentes capacidades (também denominado por *Mixed Fleet VRP*);
- **VRP with Pickup and Delivery (VRPPD)** – quando é necessário recolher os bens numa dada localização antes da entrega no destino final. O serviço de entrega e recolha tem de ser realizado pelo mesmo veículo;
- **VRP with backhauls (VRPB)** – no qual um veículo efectua entregas e recolhas na mesma rota;
- **Periodic VRP (PVRP)** – quando o planeamento dos serviços é realizado durante um certo período de tempo e os clientes podem ser visitados em dias diferentes;
- **Multi Depot VRP (MDVRP)** – no caso da existência de vários *depots* de origem na rede;
- **Open VRP (OVRP)** – neste caso, os veículos não têm de regressar ao *depot* após servirem o último cliente. Caso regressem, devem visitar os mesmos clientes por ordem inversa;
- **Time-Dependent VRP (TDVRP)** - considera que os tempos de viagem são uma função do tempo actual, visto que em casos reais é recorrente a existência de tempos de viagem variáveis (devido ao congestionamento);
- **Distance-Constrained VRP (DCVRP)** – considera um comprimento máximo para cada rota como restrição.

Uma definição mais exaustiva da taxonomia associada aos problemas do VRP pode ser consultada em De Jaegere *et al.* (2014), baseada em cinco categorias: tipo de estudo, características do cenário, características físicas do problema, características da informação e características dos dados.

3.3. Métodos de resolução do VRP e suas variantes

Na Literatura existem dois tipos principais de métodos para resolver problemas associados ao VRP: métodos exactos e métodos heurísticos (De Jaegere *et al.* (2014) refere ainda a simulação e métodos de resolução em tempo real, sendo estes raramente utilizados). Quando uma combinação destes dois métodos é utilizada, o algoritmo designa-se por “híbrido” (Kumar & Panneerselvam, 2012).

3.3.1. Métodos exactos

Os métodos exactos permitem determinar o óptimo global do problema. Em geral, são computacionalmente exigentes visto que o VRP (e muitas das suas variantes) constitui um problema NP-*hard*. Actualmente, os métodos exactos encontram-se limitados a 50 a 100 clientes. Desta forma, o seu campo de aplicação é relativamente limitado, sendo comum, em casos práticos, a utilização de métodos heurísticos. Estes últimos geram, em geral, boas soluções (quase óptimas) num tempo de processamento aceitável (De Jaegere *et al.*, 2014; Kumar & Panneerselvam, 2012).

Os métodos exactos mais populares para resolução do VRP são os algoritmos *branch-and-bound* (Laporte *et al.*, 1987), *branch-and-cut* (Hokama *et al.*, 2016; Bard *et al.*, 1998), *branch-and-price* (Parragh & Cordeau, 2015; Gutiérrez-Jarpa *et al.*, 2010) e *branch-and-cut-and-price* (Cherkesly *et al.*, 2015; Pessoa *et al.*, 2008). Dentro dos métodos exactos também se incluem outros algoritmos, tais como os métodos de pesquisa em árvore, programação dinâmica, programação linear inteira, métodos baseados na relaxação de Lagrange e a geração de colunas (El-Sherbeny, 2010; Laporte, 1992).

Até ao final dos anos 80, os métodos exactos mais eficientes para resolução do VRP eram algoritmos *branch-and-bound* baseados em relaxações combinatórias elementares (problema de alocação, árvore geradora mínima e relaxação *state-space*). Neste momento, os algoritmos deste género mais sofisticados utilizam relaxações lagrangeanas, o que permite resolver problemas de maior dimensão (Cordeau *et al.*, 2007; Toth & Vigo, 2002). Gendron *et al.* (1997) e Gendron & Crainic (1994) desenvolveram modelos adequados para tratar este tipo de problemas.

Actualmente, os algoritmos *branch-and-cut* representam o tipo de métodos exactos mais eficiente disponível (Cordeau *et al.*, 2007). A primeira versão completa deste tipo de algoritmo foi desenvolvida por Augerat *et al.* (1995). Modelos propostos por outros autores podem ser consultados em Fukasawa *et al.* (2006), Lysgaard *et al.* (2004), Baldacci *et al.* (2004), Ralphs *et al.* (2003) e Letchford *et al.* (2002).

3.3.2. Métodos heurísticos

De acordo com Cordeau *et al.* (2002), o desempenho dos métodos heurísticos deve ser avaliado tendo em consideração quatro critérios:

- **Precisão** – este parâmetro mede o grau de desvio entre a solução determinada pela heurística e a solução óptima. Este valor pode depender dos arredondamentos adoptados. Neste critério também é relevante a consistência da heurística, se esta apresenta um bom desempenho durante todo o processo, e o facto de esta gerar uma boa solução em poucas iterações;
- **Rapidez** – a importância deste critério depende do caso de estudo, ou seja, se o planeamento é realizado a curto prazo e requer resultados quase instantaneamente (é o caso do VRP dinâmico), ou a longo prazo (por exemplo, no dimensionamento de uma frota);
- **Simplicidade** – a informação disponibilizada deve ser suficiente para que um utilizador minimamente capacitado consiga programar o seu modelo. Por outro lado, os parâmetros utilizados devem ser relativamente limitados e claros;
- **Flexibilidade** – uma boa heurística deve ser capaz de incorporar as várias restrições encontradas nos problemas da vida real.

Desde meados do século passado, várias famílias de heurísticas têm sido sugeridas para a resolução deste problema. Os métodos heurísticos podem ser classificados em dois grupos: heurísticas clássicas (1960-1990) – heurísticas construtivas, heurísticas em duas fases e heurísticas de melhoramento – e meta-heurísticas (a partir de 1990) (Toro *et al.*, 2015; Cordeau *et al.*, 2007; Laporte *et al.*, 2000).

- **Heurísticas clássicas**

As heurísticas clássicas constituem métodos que não permitem que a solução intermédia se decomponha durante a procura pela solução óptima e, conseqüentemente, muitas vezes ficam retidas num óptimo local (De Jaegere *et al.*, 2014). Em geral, estes métodos geram soluções de boa qualidade dentro de um intervalo de tempo aceitável e permitem integrar facilmente diversas restrições que traduzam contextos reais. No entanto, estas realizam uma pesquisa relativamente limitada do espaço de soluções (Cordeau *et al.*, 2007).

- **Heurísticas construtivas**

Estes métodos estão entre os primeiros a ter sido utilizados para resolver o VRP e ainda hoje constituem a base de vários *softwares*.

Estas heurísticas são perfeitamente definidas através de um critério de inicialização, um critério de selecção e um critério de inserção (Cordeau *et al.*, 2007). Para a construção das soluções são utilizados dois procedimentos principais: agregação de rotas existentes através de um critério de poupança (*savings*) e atribuição de clientes às diferentes rotas mediante um custo de inserção.

A lógica destes algoritmos é a seguinte: partindo de uma solução vazia, em cada iteração são atribuídos um ou mais clientes a cada rota até que todos os clientes estejam inseridos e seja encontrada uma solução viável. De modo geral, a inserção de um determinado nó numa rota tem por base um critério de minimização de custo, assumindo sempre que essa selecção não viola nenhuma restrição (Hosny, 2011).

No processo de geração da solução, as heurísticas construtivas podem ainda ser divididas tendo em conta o número de rotas eligíveis em cada iteração para a introdução de um cliente. Estas podem ser designadas por sequenciais – se operam rota a rota – ou paralelas – se constroem mais do que uma rota em simultâneo (Bräysy & Gendreau, 2005; Laporte *et al.*, 2000).

A primeira heurística enquadrada neste grupo e também a mais popular foi proposta por Clarke & Wright (1964), baseada num algoritmo *savings*. Este algoritmo agrega em cada iteração, sempre que for viável, duas rotas numa rota única, gerando uma poupança $s_{ij} = c_{i0} + c_{0j} - c_{ij}$ (Cordeau *et al.*, 2002). Esta heurística encontra-se disponível nas versões sequencial e paralela e é aplicada nos problemas em que a dimensão da frota é uma variável de decisão, quer em redes orientadas e não orientadas (Laporte *et al.*, 2000). Segundo Cordeau *et al.* (2002), as vantagens deste algoritmos residem na elevada simplicidade e rapidez, sendo a falta de flexibilidade para adicionar restrições adicionais a sua pior característica. Wark & Holt (1994), Altinkemer & Gavish (1991) e Desrochers & Verhoog (1989) propuseram melhorias ao método *savings*, apresentando soluções de melhor qualidade, porém, com tempos de computação mais elevados (Cordeau *et al.*, 2007).

Outro método para construção da solução inicial é a heurística do vizinho mais próximo. Segundo este método, o primeiro cliente pode ser associado a uma rota de forma aleatória ou segundo um dado critério. A partir daí, os clientes vão sendo seleccionados sucessivamente de acordo com a menor distância ao último cliente inserido até ser satisfeita a capacidade do veículo (Caric & Gold, 2008).

○ **Heurísticas em duas fases**

As “heurísticas em duas fases” decompõem o processo de determinação da solução em duas etapas: *clustering* – agregam os clientes em subconjuntos, cada um destes associado a uma rota – e *routing* – determinam a sequência de clientes em cada rota (Cordeau *et al.*, 2007). Os métodos mais conhecidos neste âmbito são o *cluster-first-route-second*; o *route-first-cluster-second* (Beasley, 1983); o algoritmo *sweep* e os algoritmos *petal*. De acordo com Cordeau *et al.* (2007), o desempenho destes algoritmos é, de uma forma geral, superior ao dos algoritmos *sweep*.

Na abordagem *cluster-first-route-second*, o algoritmo começa por definir m sementes (*seeds*) e construir um *cluster* de clientes para cada uma delas, minimizando a distância dos clientes à semente respectiva e respeitando a capacidade dos veículos. Posteriormente, em cada *cluster* são determinadas rotas através da resolução do TSP (Kumar & Panneerselvam, 2012). Neste tipo de algoritmos, o mais

conhecido é o proposto por Fisher & Jaikumar (1981). Cordeau *et al.* (2002) considera este algoritmo limitado em termos de simplicidade, rapidez, precisão e flexibilidade.

O algoritmo *sweep* é frequentemente considerado o primeiro exemplo da abordagem *cluster-first-route-second*, sendo aplicável em casos planares do VRP (Cordeau *et al.*, 2007). O algoritmo cria rotas viáveis rodando um raio centrado no *depot* e atribuindo sucessivamente novos clientes a um veículo, até que as restrições de capacidade ou do comprimento da rota sejam satisfeitas. O processo é repetido até que todo o plano tenha sido percorrido, sendo posteriormente resolvida cada rota em separado através do TSP. De acordo com Cordeau *et al.* (2002), este algoritmo é bastante simples, no entanto apresenta precisão, rapidez e flexibilidade reduzidas.

Os algoritmos *route-first-cluster-second* começam por criar uma viagem gigante que comece e termine no *depot* e que abranja todos os clientes, sendo esta depois dividida em rotas viáveis para cada veículo (Caric & Gold, 2008).

Os algoritmos *petal* geram um conjunto extenso de rotas viáveis, denominadas *petals* (pétalas), e seleccionam a melhor combinação através da resolução de um problema *set partitioning* (Cordeau *et al.*, 2002). Podem ser consultados exemplos desta abordagem em Renaud *et al.* (1996) (*2-petal*) e Ryan *et al.* (1993) (*1-petal*). Cordeau *et al.* (2002) refere que a extensão *2-petal* é mais complexa mas oferece ganhos de precisão e rapidez. Em termos de flexibilidade, estes algoritmos permitem adicionar diversas restrições, porém com alguma perda de simplicidade.

- **Heurísticas de melhoramento**

As heurísticas de melhoramento são muitas vezes utilizadas com o objectivo de melhorar a solução inicial determinada por outras heurísticas, normalmente uma heurística construtiva (Cordeau *et al.*, 2005). Partindo dessa solução, a heurística de melhoramento realiza uma pesquisa local e procede a alterações simples, de forma a obter soluções vizinhas com custo inferior, até ser satisfeito um determinado critério de paragem (Hosny, 2011). A solução determinada constitui um óptimo local (Cordeau *et al.*, 2005). Estas heurísticas conseguem lidar com as rotas separadamente (vizinhança *intra-route*) ou em simultâneo (vizinhança *inter-route*) (Cordeau *et al.*, 2007; Laporte *et al.*, 2000).

Um algoritmo de pesquisa local pode ser construído definindo quatro parâmetros: a forma como é determinada uma solução inicial viável, o mecanismo de geração da vizinhança, o critério de aceitação e o critério de paragem. Os dois critérios de aceitação mais populares são o *First-Accept* (FA) e o *Best-Accept* (BA). O FA selecciona a primeira solução vizinha que respeita o critério de aceitação definido; o BA testa todas as soluções vizinhas que satisfazem o critério e escolhe a melhor entre elas. O óptimo local determinado depende significativamente das soluções iniciais de partida e do mecanismo de geração de vizinhança adoptado (Bräysy & Gendreau, 2005).

A maioria dos algoritmos incorporados em heurísticas de melhoramento utiliza o método da troca de arestas (*edge exchange*). Este tem por base o mecanismo *k-opt*, postulado para o TSP. Inicialmente,

k arestas são eliminadas da solução actual e as restantes parcelas são recombinadas em todas as hipóteses possíveis, sendo adoptada a opção que tiver o menor custo. Quando não existir melhoria possível, o processo termina num mínimo local e essa rota é designada por *k-optimal*. Na prática, é usual proceder-se a duas ou três trocas de arestas (Cordeau *et al.*, 2007; Bräysy & Gendreau, 2005; Laporte *et al.*, 2000). Outros procedimentos utilizados pelas heurísticas de melhoramento encontram-se referidos em Cordeau *et al.* (2005).

- **Meta-heurísticas**

As meta-heurísticas utilizam métodos das heurísticas de melhoramento, incorporando algoritmos mais sofisticados de pesquisa local. Estes algoritmos permitem a deterioração da soluções intermédias e a determinação de soluções inviáveis (Cordeau *et al.*, 2005).

No caso das meta-heurísticas, estas realizam uma pesquisa mais completa em comparação com as heurísticas clássicas, analisando as regiões mais promissoras do espaço de soluções. As soluções produzidas pelas meta-heurísticas são normalmente de melhor qualidade do que aquelas apresentadas pelas heurísticas clássicas, sendo menos provável determinarem um óptimo local. Contudo, o seu processamento é, computacionalmente, mais exigente. Além disso, muitas vezes os métodos utilizados requerem a definição de parâmetros adaptados ao contexto em estudo, podendo complicar a sua aplicação noutras situações. Os procedimentos utilizados pelas meta-heurísticas englobam regras de pesquisa, estruturas de memória e recombinação de soluções (Cordeau *et al.*, 2007).

As meta-heurísticas podem ser divididas em três grandes categorias: pesquisa local, pesquisa populacional e mecanismos de aprendizagem. As heurísticas mais robustas combinam frequentemente processos de diferentes meta-heurísticas (Cordeau *et al.*, 2007).

- Pesquisa local

Desta classe fazem parte os métodos de arrefecimento simulado (Chiang & Russell, 1996), arrefecimento determinístico e pesquisa tabu (Glover, 1989; Glover, 1986) (Cordeau *et al.*, 2007).

Em cada iteração, estes algoritmos percorrem o espaço de soluções de forma intensiva, passando da solução actual para outra solução promissora na sua vizinhança, até que seja satisfeito um critério de paragem (Cordeau *et al.*, 2002).

O arrefecimento simulado foi um dos primeiros métodos a ser desenvolvido no campo das meta-heurísticas. O termo “arrefecimento” advém de um processo físico, no qual um líquido é aquecido até atingir um estado líquido e posteriormente arrefecido de volta ao estado sólido (El-Sherbeny, 2010). Os algoritmos de arrefecimento simulado e determinístico possuem formas de operação similares, diferindo no critério de aceitação das soluções. Estes algoritmos realizam uma pesquisa local, não em

busca da melhor solução mas seleccionando aleatoriamente uma solução na vizinhança da solução actual. Se a solução determinada for melhor do que a actual, esta é sempre aceite e substitui a anterior. Caso contrário, a solução apenas é aceite dentro de uma determinada probabilidade (arrefecimento simulado) ou se respeitar um dado limite determinístico (arrefecimento determinístico) como critério de aceitação (El-Sherbeny, 2010; Cordeau *et al.*, 2007; Bräysy & Gendreau, 2005).

O primeiro exemplo de um algoritmo de pesquisa tabu foi proposto por Glover (1986). Estes algoritmos efectuam uma pesquisa local, modificando sucessivamente as soluções encontradas e memorizando essas alterações numa lista tabu (El-Sherbeny, 2010), de modo a não visitar as mesmas soluções mais do que uma vez ou de forma cíclica (Taillard *et al.*, 2000). Estes algoritmos permitem a escolha temporária de soluções de pior qualidade se estas se encontrarem na vizinhança de ótimos locais (El-Sherbeny, 2010). Em geral, os algoritmos de pesquisa tabu não são utilizados na sua versão básica, estando o sucesso da sua implementação dependente de diversos processos, nomeadamente a regra escolhida para definir as vizinhanças (Cordeau *et al.*, 2007). Outros exemplos destes algoritmos encontram-se descritos em Solomon (1987), Badeau *et al.* (1997) e Schulze & Fahle (1999).

- Pesquisa populacional

Esta classe inclui os algoritmos de pesquisa genética (Mester & Bräysy, 2007), (Prins, 2004) e (Berger & Barkaoui, 2003) e os procedimentos de memória adaptativa (Rochat & Taillard, 1995). A sua forma de operação consiste na geração de várias populações de soluções, através de um processo iterativo, até que sejam cumpridos alguns critérios de convergência (Bräysy & Gendreau, 2005).

Os algoritmos de pesquisa genética tiram partido do conceito de evolução genética das espécies, respeitando a Lei de Darwin. Estes algoritmos foram primeiramente utilizados por biólogos na década de 1950 para simular a evolução dos organismos (El-Sherbeny, 2010), tendo sido adaptados posteriormente para resolução de problemas de optimização por Holland (1975) e Goldberg (1989). Os algoritmos de pesquisa genética não operam com uma solução única mas sim com um conjunto (população) de soluções codificadas, designadas por cromossomas. As novas soluções são geradas aplicando operadores genéticos (selecção, cruzamento e mutação) às soluções iniciais (parentes). Os melhores parentes têm maior probabilidade de serem seleccionados uma vez que conduzem igualmente a melhores soluções. O processo termina quando for obtida uma população de elementos robustos, sendo esta a solução óptima ou quase óptima do problema (El-Sherbeny, 2010; Cordeau *et al.*, 2005).

O Procedimento de Memória Adaptativa (AMP), postulado por Rochat & Taillard (1995), é referido como um dos principais contributos deste tipo de métodos. Este algoritmo opera com um conjunto de boas soluções, substituindo as piores candidatas por outras de melhor qualidade. Quando aplicado no âmbito do VRP, o AMP utiliza algumas rotas extraídas do conjunto de soluções de forma a gerarem uma nova

solução. Este processo decorre enquanto for possível seleccionar rotas que não se sobreponham às já inseridas anteriormente (Cordeau *et al.*, 2007).

- Mecanismos de aprendizagem

Neste grupo de metaheurísticas encontram-se as redes neurais (Ghaziri, 1996; Matsuyama, 1991) e a optimização com base em colónias de formigas (*ant colony optimization*) (Reimann *et al.*, 2004).

As redes neurais funcionam com um conjunto de “anéis” deformáveis, candidatos a formarem rotas viáveis. Através de um processo de aprendizagem, os vértices vão sendo atribuídos aleatoriamente aos vários anéis (Cordeau *et al.*, 2005).

O primeiro algoritmo com base em colónias de formigas foi proposto por Bullnheimer *et al.* (1997). Estes algoritmos fazem uma analogia em relação à forma como as formigas procuram comida e voltam ao seu ninho. Uma descrição mais detalhada desta analogia pode ser encontrada em Taillard *et al.* (2000).

No Quadro 8 alguns modelos encontrados na Literatura, desenvolvidos para a resolução do VRP e suas variantes.

Quadro 8 – Modelos utilizados para resolução do VRP e suas variantes.

Fonte	Tipo de VRP	Objectivo	Contexto/Aplicação	Método de resolução
Dantzig & Ramser (1959)	<i>Truck Dispatching Problem</i> (TDP)	Minimização da distância total percorrida	Frota de camiões homogéneos para transporte de combustível	Programação linear
Clarke & Wright (1964)	VRP clássico	Minimização do custo total de transporte	Generalização do TDP – servir um conjunto de clientes geograficamente dispersos, a partir de um <i>depot</i> , utilizando uma frota heterogénea de camiões	Algoritmo <i>savings</i>
Larsson <i>et al.</i> (2015)	VRP	Minimização do total de combustível consumido	Problema de <i>platooning</i> , com os camiões a partilhar a mesma origem ou a partir de diferentes origens	Programação linear

Quadro 8 – Modelos utilizados para resolução do VRP e suas variantes (continuação).

Fonte	Tipo de VRP	Objectivo	Contexto/Aplicação	Método de resolução
Agra <i>et al.</i> (2013)	VRPTW	Minimização do custo total de transporte	Transporte marítimo	Optimização robusta
Vidal <i>et al.</i> (2013)	VRPTW	Minimização da distância total percorrida	Resolução de problemas VRPTW, MDVRPTW, <i>Multi Period VRP</i> e <i>Site-Dependent VRP</i>	Algoritmo genético
Figliozzi (2010)	VRPTW	<ul style="list-style-type: none"> • Minimização do número de rotas; • Minimização do número de janelas temporais violadas; • Minimização do tempo ou distância totais. 	Resolução de problemas VRPTW	Heurística construtiva
Tasan & Gen (2012)	VRPPD	Minimização da distância total percorrida	Resolução de problemas VRPPD	Algoritmo genético
Pradenas <i>et al.</i> (2013)	VRPBTW	Minimização da energia requerida por rota	Redução das emissões poluentes de uma frota de veículos homogéneos	Meta-heurística <i>Scatter Search</i> e abordagem <i>cooperative game</i>
Sicilia <i>et al.</i> (2014)	CVRPTW	Minimização dos custos operacionais	Transporte rodoviário de longa distância na Península Ibérica	Optimização <i>ant colony</i>
Montemanni <i>et al.</i> (2005)	DVRP	Minimização do tempo total de viagem	Caso de estudo na rede rodoviária da cidade de Lugano, servindo 50 clientes a partir de um <i>depot</i>	Optimização <i>ant colony</i>
Caldas <i>et al.</i> (2009)	VRPPDTW	Minimização do custo total de transporte	Servir um grupo de clientes com uma frota homogénea a partir de um <i>depot</i>	Pesquisa tabu

Quadro 8 – Modelos utilizados para resolução do VRP e suas variantes (continuação).

Fonte	Tipo de VRP	Objectivo	Contexto/Aplicação	Método de resolução
Brandão (2003)	OVRP	<ul style="list-style-type: none"> • Minimização do número de veículos; • Minimização da distância (ou tempo) percorrida por esses veículos. 	Problemas OVRP simétricos e assimétricos	Pesquisa tabu

3.4. Escolha do método

Vários cenários da vida real, em particular o planeamento de rotas por parte de um operador logístico, são passíveis de ser tratados recorrendo a modelos de optimização.

A optimização, também designada por programação matemática, consiste no estudo de um problema de decisão. Este problema é formulado tipicamente com base em três componentes: a função objectivo (pode existir mais do que uma no mesmo problema), as variáveis de decisão e as restrições do problema. Na prática pretende-se minimizar ou maximizar a função objectivo, seleccionando sucessivamente os valores das variáveis de decisão e respeitando os limites estabelecidos pelas restrições. Existem diversos tipos de modelos de optimização, tais como a programação linear, a programação não linear, a programação multiobjectivo ou a programação bi-nível (Zhang *et al.*, 2015).

No âmbito deste trabalho, o caso de estudo será tratado desenvolvendo um modelo de optimização em programação linear inteira, dados os recursos disponíveis (*software Xpress*) e a sua aplicação a este tipo de problemas encontrada na literatura, em particular no trabalho de Larsson *et al.* (2015). Este processo será descrito com maior detalhe no Capítulo 4.

4. CASO DE ESTUDO: POTENCIAL DO *PLATOONING* NA REDE DE AUTOESTRADAS NACIONAL

Neste capítulo encontra-se exposto o caso de estudo. Tendo em consideração o foco prestado na literatura ao estudo do *truck platooning*, sendo visto como uma modalidade que irá assumir um papel relevante na área dos ITS nos próximos anos devido aos benefícios que proporciona a nível económico, social e ambiental, optou-se por explorar esta solução no âmbito deste trabalho.

Assim, este capítulo apresenta uma comparação entre dois cenários: o Cenário 1, que corresponde à situação implementada actualmente, onde as rotas são efectuadas individualmente por camiões convencionais; e o Cenário 2, que traduz a realização das rotas existentes no presente, através da modalidade *platooning*, utilizando o modelo de optimização. No final, os cenários serão comparados entre si e aferidos os eventuais benefícios da sua aplicação, bem como comparados com uma abordagem teórica do *platooning*, representando o limite máximo dos benefícios. É importante referir que os ganhos quantificados neste trabalho, bem como o combustível consumido e as emissões produzidas, contemplam apenas o percurso dos camiões realizado em autoestrada, uma vez que, numa fase inicial, o *platooning* apenas será permitido neste tipo de via.

4.1. Caso de estudo: o Grupo Luís Simões

O estudo desenvolvido neste trabalho assenta na actividade do maior operador logístico português e um dos mais importantes a nível ibérico – o Grupo Luís Simões –, nomeadamente nos serviços de entrega de mercadorias através do transporte rodoviário de longo curso.

A criação do Grupo Luís Simões (LS) remonta à década de 1940 em Portugal. Ao longo dos anos, através de um crescimento orgânico e sustentado, a LS foi expandido a sua actividade logística, tendo entrado no mercado espanhol na década de 2000. Actualmente, o Grupo conta com 45 centros de operações ao longo da Península Ibérica, incluindo Centros Operacionais de Transportes (COT), Centros Operacionais de Logística (COL), plataformas de *cross-docking* e centros de *co-packing* (Luís Simões, 2017).

Diariamente em Portugal, a LS serve mais de 1000 clientes dispersos por todo o território nacional. Os dados utilizados para o desenvolvimento deste estudo, fornecidos pela LS, são referentes a serviços efectuados em Portugal Continental, a partir de três armazéns – COL Benavente, COL Carregado 1 (C1), COL Carregado 2 (C2). Foi tomado como referência o dia 01/09/2016, no qual foram realizadas 592 rotas a partir destes centros.

4.2. Tratamento de dados e preparação do modelo

Antes da construção do modelo existiu a necessidade de compilar os dados num formato adequado ao propósito deste estudo. O processo de tratamento de dados pode ser sistematizado nas etapas seguintes:

- I. Dada a proximidade entre estes centros, e de modo a reduzir a carga computacional do modelo, as três origens foram agrupadas num único ponto, centrado no Carregado.
- II. No total, os centros COL Benavente, COL C1 e COL C2 serviam 592 clientes distribuídos por 202 localidades. Foi assumido que a cada cliente equivalia um camião (ver Figura 10).
- III. Uma vez que o *platooning* apenas será permitido em autoestrada (numa fase inicial), foram adoptadas como destino (representando os clientes) as saídas da autoestrada dos Concelhos associados a essas localidades. Foram obtidos 92 destinos independentes (ver Figura 11), reduzindo assim, também, a complexidade do modelo (e.g., para a localidade de Godim considerou-se a saída da autoestrada para Peso da Régua).
- IV. Através das ferramentas Google Earth e Google Maps foram determinadas as coordenadas geográficas dos pontos notáveis da rede – origem, destinos, saídas das autoestradas, intersecções entre autoestradas – e mediu-se o comprimento de todos os arcos. Desta forma, foi construído o grafo que serve de base ao modelo.
- V. Foi contabilizado o número de camiões com destino a cada Concelho, tendo por base as localidades iniciais. De modo a aliviar a carga computacional do modelo, foi calculado o número de pelotões que se poderiam formar logo à partida, deixando para introduzir no modelo apenas os camiões sobrantes (ver Anexo I). Ou seja, dos 592 camiões iniciais foi possível excluir desde logo 266 pelotões (formados por dois camiões), restando 60 camiões para correr no modelo.
- VI. Foi calculada a matriz de custos (simétrica), multiplicando o comprimento de cada arco pelo consumo médio de combustível de um camião (adoptou-se como referência um valor de $34 \text{ L}/100\text{km} = 0.34 \text{ L}/\text{km}$, sugerido pela Luís Simões).

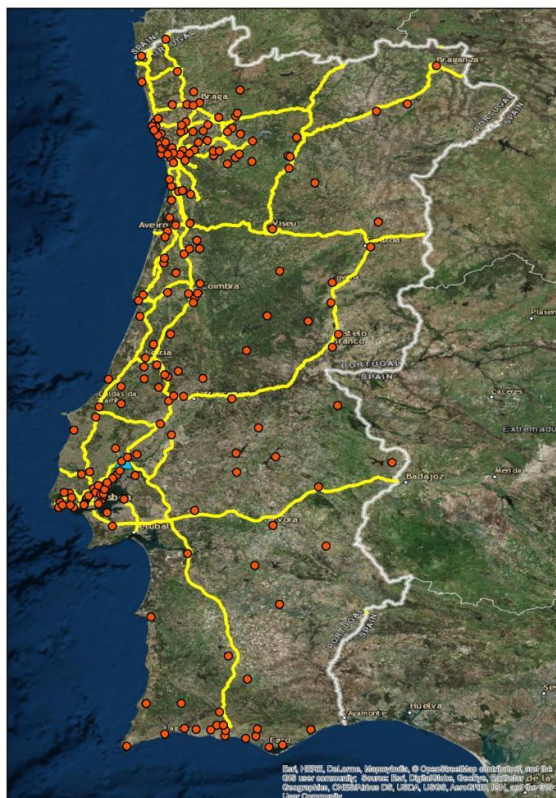


Figura 10 – Localidades iniciais das rotas.

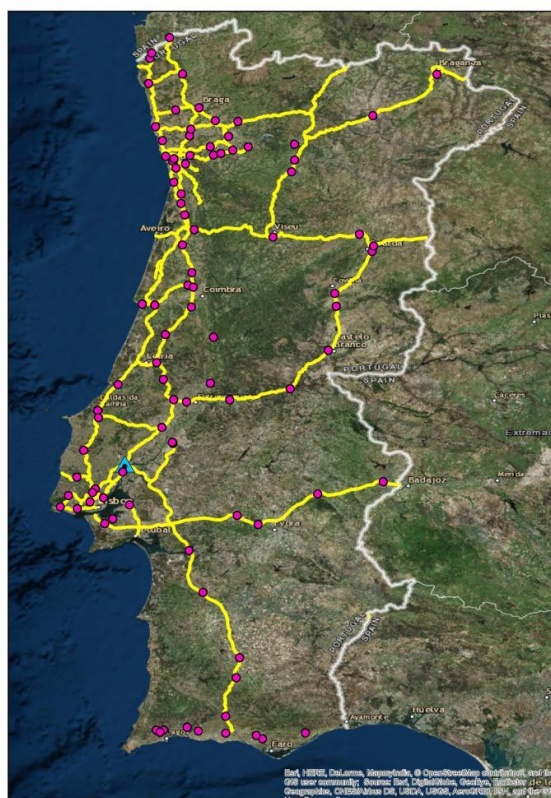


Figura 11 – Saídas das autoestradas adoptadas.

4.3. Modelo de optimização

Atendendo às características do caso de estudo e à revisão da literatura efectuada no Capítulo 3, a resolução do cenário real proposto foi abordada tendo em conta a metodologia do VRP.

Neste contexto, optou-se pela vertente clássica do VRP na medida em que não existiam restrições relevantes (como, por exemplo, janelas temporais) a considerar na prossecução dos objectivos deste trabalho. A principal diferença a apontar em relação ao VRP clássico reside no facto de que, no problema em estudo, não foi imposto o retorno dos camiões ao *depot* de origem após a realização das rotas.

Por forma a avaliar o potencial para realização de *platooning* e os eventuais ganhos em termos de poupança de combustível e de redução das emissões poluentes, foi construído um modelo de optimização em programação linear, utilizando linguagem Mosel através do *software* Xpress 8.0.

Este modelo foi desenvolvido com base no trabalho realizado por Larsson *et al.* (2015), o qual consiste na formulação em programação linear inteira de um problema de *platooning* sem restrições temporais associadas (designado pelos autores como *unlimited platooning problem*). Da mesma forma, no âmbito deste trabalho não foram consideradas restrições temporais. À formulação matemática original foram efectuadas algumas alterações de forma a adaptar o modelo ao problema em estudo.

A principal alteração relativamente ao modelo produzido no presente estudo consiste na inclusão de uma variável que limita o número de camiões permitido em cada pelotão, uma vez que, de acordo com a literatura consultada, numa fase inicial de implementação do *platooning* o número de camiões num pelotão não deverá exceder os três.

Os parâmetros que serviram como *input* do modelo são os seguintes:

- O número de origens, destinos e os restantes pontos notáveis da rede, bem como a sua localização geográfica;
- A matriz de custos (simétrica) entre os diferentes nós da rede;
- O número de veículos a utilizar;
- A procura associada a cada cliente que, neste caso, corresponde ao número de camiões com destino a um determinado Concelho.

Em seguida, encontram-se referidas as principais assunções tomadas neste modelo, assim como as simplificações realizadas a fim de reduzir a complexidade do modelo e por limitações temporais para a sua resolução:

- Foi assumida uma velocidade constante dos camiões em autoestrada, não tendo sido considerado este valor no modelo;
- Foi assumida uma frota homogénea de veículos com capacidades idênticas. Este valor não foi incluído no modelo;
- Por simplicidade na construção da rede e ligação entre os nós em causa, foram integrados os troços correspondentes a algumas pontes (Ponte 25 de Abril, Ponte Vasco da Gama, Ponte do Freixo e Ponte da Arrábida);
- Não foi considerado o número máximo de horas de condução permitidas aos motoristas;
- Optou-se por considerar cada pelotão constituído por dois camiões, atendendo aos estudos de Janssen *et al.* (2015) e ERTRAC (2015);
- ERTRAC (2015) refere uma poupança de combustível entre 10-15%, no caso de um pelotão formado por dois camiões. Foi adoptado o valor médio de 12.5% neste modelo;
- Não foram tidos em consideração os efeitos do tráfego ou as condições da infraestrutura nos cálculos;
- Não foi especificado o nível de automação dos camiões utilizados no *platooning*;
- Não foi incluída no modelo a distância entre os camiões durante a realização do *platooning*.

De seguida são especificados os principais conjuntos de elementos do modelo, as variáveis de decisão, os parâmetros inseridos como *inputs* do modelo, a função objectivo e as restrições.

- **PRINCIPAIS CONJUNTOS**

NODES: $N = \{ORIGEM, P1, P2, \dots, i, \dots, j\}$ – conjunto dos nós da rede

PLATOON: $P = \{1, \dots, t\}$ – conjunto de camiões em pelotão

TRUCKS: $T = \{1, \dots, n\}$ – conjunto dos camiões da frota

- **VARIÁVEIS DE DECISÃO**

ASSIGN: $x_{ijnt} = \begin{cases} 1, & \text{se o camião } n \text{ vai do nó } i \text{ para o nó } j \\ 0, & \text{c. c.} \end{cases}$

USED: $b_{ijt} = \begin{cases} 1, & \text{se o arco de } i \text{ para } j \text{ se encontra em utilização} \\ 0, & \text{c. c.} \end{cases}$

FUEL_SAVING: g_{ijt} – valor do consumo de combustível ao longo do arco de i para j

TOTAL_TRUCKS: v_{ijt} – número total de camiões no arco de i para j

TRUCKS_IN_PLATOON: p_t – número total de camiões em utilização

- **PARÂMETROS DO MODELO**

TRANS_COST: C_{ij} – Matriz de custos de viagem do nó i para o nó j (simétrica)

DEMAND: d_j – procura associada ao cliente j

saving_factor: η – factor de redução do consumo de combustível devido ao platooning

maxTrucks – número máximo de camiões permitido em cada pelotão

- **FUNÇÃO OBJECTIVO**

$$\text{Min } F = \sum_i \sum_j \sum_t C_{ij} \cdot g_{ijt} \quad (1)$$

A função objectivo (1) minimiza o custo total de viagem de todos os veículos nas suas rotas.

- **RESTRIÇÕES**

$$\sum_i x_{ijnt} = \sum_k x_{jknt} \quad \forall j \in N, n \in T, t \in P \quad (2)$$

A restrição (2) representa uma equação de equilíbrio, garantindo que o número de camiões que entra num determinado nó é igual ao número de camiões que sai desse nó.

$$\sum_n \sum_t x_{j0nt} = d_j \quad \forall j \in N \quad (3)$$

A restrição (3) constitui outra equação de equilíbrio, que garante que o número de camiões que sai do *depot* de origem (designado por nó 0) é igual à procura dos nós de destino.

$$\sum_i \sum_n \sum_t x_{ijnt} \geq d_j \quad \forall j \in N \quad (4)$$

A restrição (4) assegura que o número de camiões a circular na soma dos arcos a entrar num dado nó é igual ou superior à procura desse nó.

$$g_{ijt} = b_{ijt} + \eta \left(\left[\sum_n x_{ijnt} \right] - b_{ijt} \right) \quad \forall (i, j) \in N, t \in P \quad (5)$$

A restrição (5) corresponde ao cálculo do consumo de combustível num determinado arco.

$$b_{ijt} \geq x_{ijnt} \quad \forall (i, j) \in N, n \in T, t \in P \quad (6)$$

A restrição (6) define que um determinado arco se encontra em utilização se existir uma rota do nó i para o nó j .

$$x_{jjnt} = 0 \quad \forall j \in N, n \in T, t \in P \quad (7)$$

A restrição (7) impede que um camião regresse ao mesmo nó.

$$v_{ijt} = \sum_n x_{ijnt} \quad \forall (i, j) \in N, t \in P \quad (8)$$

A restrição (8) garante que o número total de camiões presentes num arco é igual ao número total de camiões associados a esse arco através da variável *ASSIGN*.

$$p_t = \sum_j \sum_n x_{ojnt} \quad \forall t \in P \quad (9)$$

A restrição (9) garante que o total de camiões em utilização é igual ao número de camiões que saiu do *depot* de origem.

$$p_t \leq \text{maxTrucks} \quad \forall t \in P \quad (10)$$

A restrição (10) estabelece que o número de camiões num pelotão tem de ser igual ou inferior à variável *maxTrucks* (no contexto deste modelo, *maxTrucks* = 2).

$$x_{ijnt} \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in N, n \in T, t \in P \quad (11)$$

$$b_{ijt} \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in N, t \in P \quad (12)$$

As restrições (11) e (12) definem as variáveis *ASSIGN* e *USED* como sendo binárias.

4.4. Experiências e validação do modelo

Antes da aplicação ao caso de estudo deste trabalho, o modelo foi testado com uma rede mais pequena (menor número de destinos e de camiões utilizados), de modo a avaliar a se o modelo estava a produzir o tipo de resultados pretendido e a sua *performance* em termos computacionais.

Em primeiro lugar, foram desactivadas as variáveis *PLATOON* e *maxTrucks* do modelo, com o objectivo de determinar as rotas desde o *depot* de origem até aos vários destinos. Começando com uma rede com 6 clientes e 6 camiões e aumentando progressivamente estes valores, verificou-se que o modelo estava a apresentar os resultados desejados em poucos segundos, ou seja, todos os camiões se encontravam utilizados e serviam todos os clientes da rede. Finalmente, considerando os 92 destinos, e introduzindo 92 camiões no modelo, foi possível obter as rotas optimizadas para cada destino em cerca de 10 minutos.

No entanto, ao activar as variáveis *PLATOON* e *maxTrucks*, correndo o modelo com os 60 camiões que resultaram da fase de tratamento dos dados, a carga computacional do modelo aumentou significativamente. Verificou-se que o modelo não conseguia apresentar uma solução, correndo este durante três dias sem interrupção. Desta forma, por limitações temporais e dos meios disponíveis para a realização deste trabalho, optou-se por realizar os cálculos do consumo de combustível “manualmente”, tendo por base as rotas optimizadas obtidas nas primeiras experiências com o modelo.

4.5. Apresentação dos resultados

Nesta secção encontram-se explicitados os resultados obtidos para cada cenário, nomeadamente, o consumo total de combustível, a tonelagem de emissões poluentes produzida e o custo económico associado ao combustível consumido.

Para isso, é importante referir que para o cálculo do custo do combustível se tomou como referência o preço de referência mensal para o gasóleo, mencionado no site da Entidade Nacional para o Mercado de Combustíveis (ENMC), no valor de 1.098 €/L. Já na quantificação das emissões de CO₂ produzidas foram seguidas as directrizes para o cálculo das emissões poluentes de operações de transporte de mercadorias, indicadas em ECTA (2011). Este cálculo assenta na fórmula seguinte:

$$\text{Ton CO}_2 = \frac{\text{consumo de combustível} \times \text{factor conversão de emissões de combustível}}{1000}$$

O factor de conversão depende do combustível utilizado e traduz os quilos de CO₂ emitidos por litro de combustível. No caso do gasóleo, este factor corresponde a 2.9.

- **CENÁRIO 1: SITUAÇÃO ACTUAL**

Com base na informação recolhida durante a fase de validação do modelo, ou seja, as rotas optimizadas para cada um dos 92 destinos, foram calculados os comprimentos dessas mesmas rotas (ver Anexo II). Isto permitiu determinar a quantidade total de combustível consumido pelos 592 camiões ao longo das rotas, as respectivas emissões poluentes e o custo inerente ao combustível despendido.

Quadro 9 – Resultados do Cenário 1.

Combustível consumido (L/dia)	Custo total combustível (€/dia)	Emissões CO ₂ (ton/dia)
45 521	49 982	132

- **CENÁRIO 2: APLICAÇÃO DO PLATOONING (MODELO)**

Este cenário traduz a aplicação do *platooning* ao Cenário 1, considerando as rotas obtidas na primeira fase de experimentação do modelo. Tendo em conta o comprimento dessas rotas e os pelotões que se conseguiam formar *a priori* (ver Anexo I), e adoptando o valor de 12.5% como factor de redução de combustível consumido por cada pelotão, calculou-se o consumo total consumido pelos 266 pelotões. Os restantes 60 camiões foram agrupados em pelotões tendo em consideração os seus percursos e destinos semelhantes.

Por outro lado, de forma a avaliar os custos inerentes à introdução da tecnologia que permite a realização de *platooning*, em comparação com os benefícios proporcionados pela sua aplicação, tomou-se como referência o estudo realizado por Janssen *et al.* (2015). Este estudo refere que a tecnologia actualmente tem um custo de 10 000€/camião, com um período de depreciação de 7 anos. Assumindo que a LS seria um *early adopter* desta tecnologia e considerando 250 dias úteis de trabalho por ano, a tecnologia representaria um custo de 5.72€/dia/camião. Neste caso, atendendo a que o *platooning* permite uma poupança de 6023€/dia/rotas (em comparação com o Cenário 1), a sua utilização representa um benefício de 10.17€/dia/camião.

Quadro 10 – Resultados do Cenário 2.

Combustível consumido (L/dia)	Custo total combustível (€/dia)	Emissões CO ₂ (ton/dia)	Custo tecnologia (€/dia/camião)	Benefício platooning (€/dia/camião)
40 035	43 959	116	5.72	10.17

- **APLICAÇÃO TEÓRICA DO PLATOONING**

Esta situação consiste na aplicação teórica do conceito de *platooning* ao Cenário 1, nomeadamente através da consideração dos valores de eficiência referidos na literatura. Assim, para a redução do consumo de combustível foi adoptada a média dos valores indicados por ERTRAC (2015), ou seja, 12.5%; já para a redução das emissões poluentes produzidas, considerou-se o valor de 10% referido por ACEA (2016). Desta forma, este cenário representa o limite máximo teórico dos benefícios que é expectável obter-se no presente caso de estudo.

Através da aplicação do *platooning*, é obtida uma poupança de 6248€/dia/rotas (em comparação com o Cenário 1), o que constitui um benefício de 10.55€/dia/camião.

Quadro 11 – Resultados da abordagem teórica.

Combustível consumido (L/dia)	Custo total combustível (€/dia)	Emissões CO ₂ (ton/dia)	Custo tecnologia (€/dia/camião)	Benefício platooning (€/dia/camião)
39 831	43 734	119	5.72	10.55

4.6. Análise dos resultados

Nesta secção serão comparados e comentados os resultados obtidos nos dois cenários apresentados anteriormente. O objectivo passa por analisar se a aplicação do *platooning* ao caso de estudo se traduziu em ganhos de eficiência operacionais e ambientais, através da redução do consumo de combustível e das emissões poluentes produzidas. Apesar do valor do combustível consumido ter sido calculado “manualmente” e não através do modelo de optimização (e, portanto, não representar a solução óptima), verifica-se que os resultados obtidos são similares aos valores máximos teóricos referidos na abordagem teórica.

Em relação ao combustível consumido, o valor obtido no Cenário 2 pela utilização do *platooning* (40 035L/dia/rotas) é bastante aproximado ao valor máximo expectável dado pela abordagem teórica (39 831L/dia/rotas), o que representa uma redução de cerca de 12.1% em relação à realização convencional das rotas no Cenário 1 (45 521L/dia/rotas) (ver Figura 13). Anualmente, esta redução permite poupar 1 371 500L de combustível.

No que diz respeito ao custo total com combustível, o valor obtido no Cenário 2 (43 959€/dia/rotas) é igualmente próximo ao valor teórico (43 734€/dia/rotas). Comparando com o Cenário 1 (49 982€/dia/rotas), verifica-se uma redução de aproximadamente 12.1%, o que se traduz numa poupança anual de 1 505 750€ (ver Figura 14).

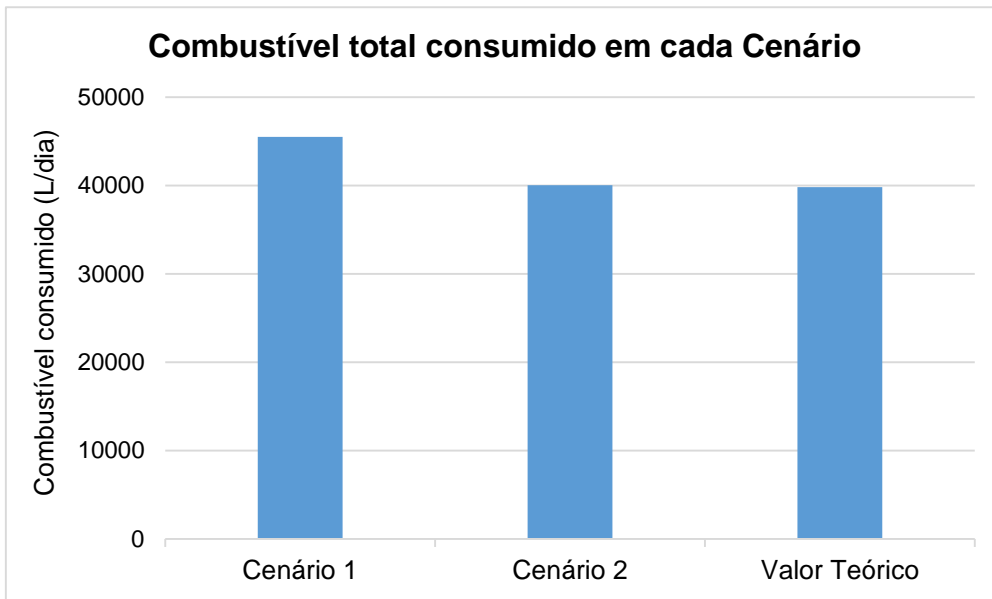


Figura 12 – Total de combustível consumido em cada Cenário.

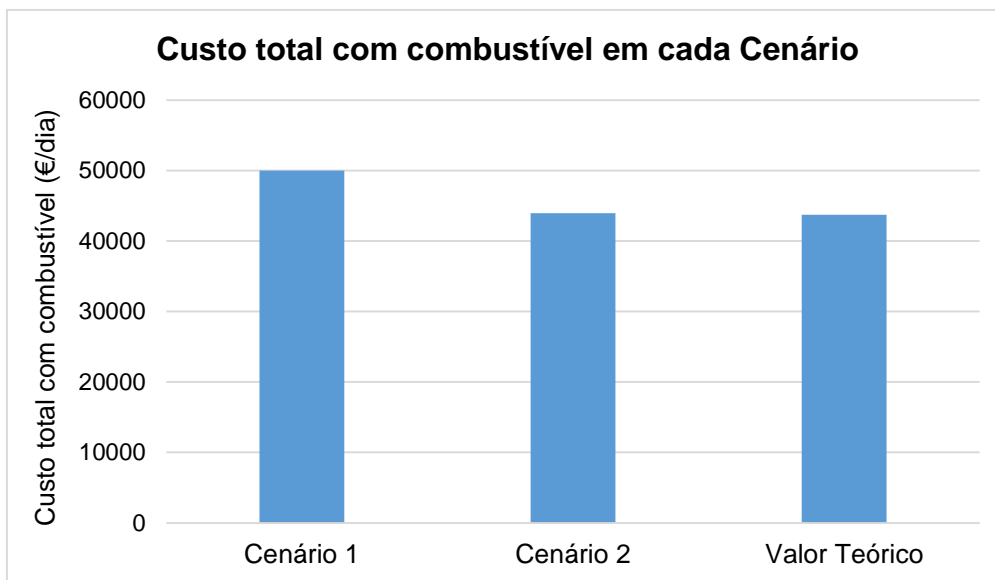


Figura 13 – Custo total com combustível em cada Cenário.

Relativamente às emissões poluentes produzidas, a redução verificada nos resultados excedeu o valor de 10% adoptado na abordagem teórica. Quando comparado com o Cenário 1 (132 ton/dia/rotas), o resultado obtido no Cenário 2 (116 ton/dia/rotas) representa uma redução de cerca de 12.1%, o que constitui uma diminuição de 4000 toneladas emitidas anualmente (ver Figura 15).

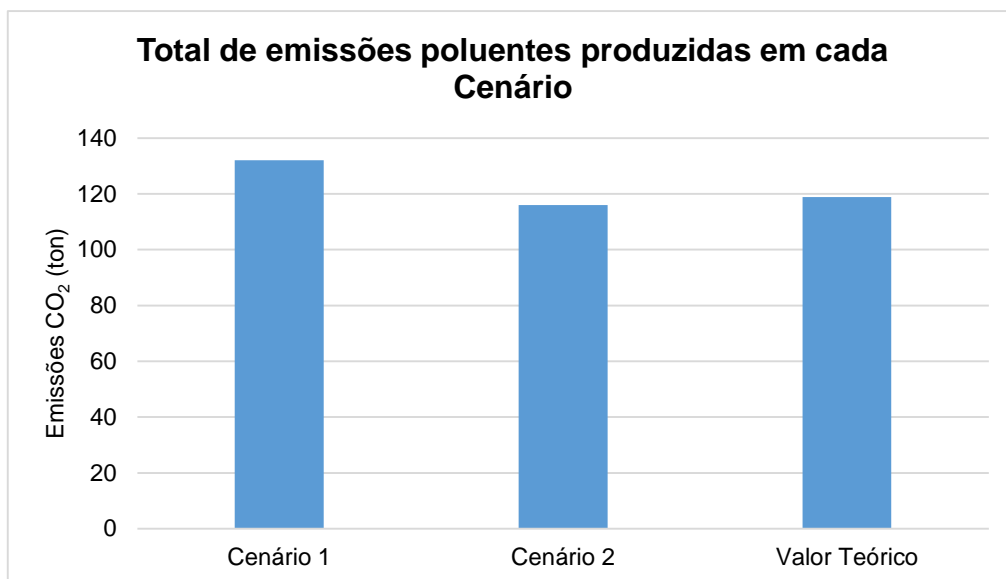


Figura 14 – Total de emissões poluentes produzidas em cada Cenário.

Por fim, atendendo aos custos de introdução da tecnologia que permita a realização do *platooning* e aos ganhos obtidos pela sua utilização, os resultados são interessantes. Não entrando em linha de conta com outros custos (e.g., custos com mão-de-obra ou manutenção), no Cenário 2 a poupança relativa ao custo com combustível gerada pelo *platooning* (2543€/ano/camião) é significativamente superior ao custo da tecnologia (1429€/ano/camião). Assim, verifica-se que os valores obtidos para o caso de estudo da LS se aproximam dos valores teóricos considerados. Por outro lado, atendendo aos resultados descritos nesta secção, é possível reconhecer indicadores favoráveis para a utilização do *platooning* no caso de estudo, e para a continuação do estudo desta tecnologia aplicada à rede de autoestradas portuguesa em particular, bem como a outras redes caracterizadas por curtas distâncias.

5. CONCLUSÕES

Os sectores da Logística e dos Transportes constituem elementos-chave no funcionamento das sociedades actuais, integrantes estas de um Mundo cada vez mais globalizado. Juntos oferecem o suporte para uma quantidade significativa de actividades que desempenhamos diariamente.

Tendo em consideração que, frequentemente, o local de produção dos bens, ou até de extracção das matérias-primas utilizadas no seu fabrico, não é o mesmo local onde estes são consumidos, é crucial que o fluxo destas mercadorias ao longo da Cadeia de Abastecimento se desenvolva de forma eficiente. A actividade destes sectores gera impactos directos a nível económico, social e ambiental.

No caso particular do transporte rodoviário, este é responsável não só pelo maior número de acidentes e mortes registadas entre todos os modos, como também é o principal contribuinte para as emissões poluentes produzidas pelo sector dos Transportes. Esta conjuntura afecta quer as empresas, quer a sociedade em geral. Dado este cenário, a CE estabeleceu metas ambiciosas a médio e longo prazo de forma a contrariar esta tendência. É, por isso, premente a busca de novas soluções mais eficientes e sustentáveis para o sector. Neste contexto, os veículos autónomos prenunciam-se como a próxima grande inovação tecnológica nos sectores da Logística e dos Transportes, com potencial para solucionar diversas ineficiências destes sectores.

Este trabalho pretendeu, assim, estudar uma dessas soluções aplicada ao transporte de mercadorias de longo curso, o designado *truck platooning*, e o seu potencial para redução do consumo de combustível e de emissões poluentes produzidas. Mais concretamente, este estudo incidiu na rede nacional de autoestradas, tendo em conta um caso de estudo do maior operador logístico português, o Grupo Luís Simões. Foram comparados dois cenários entre si, bem como com uma abordagem teórica do *platooning*: o primeiro representando a situação estabelecida actualmente, na qual os camiões efectuam as suas rotas individualmente; e o segundo cenário, que traduz a realização das rotas existentes no presente, através da modalidade *platooning*, utilizando o modelo de optimização. Paralelamente, procurou-se avaliar o potencial para realização do *platooning* ao longo de distâncias mais curtas, como aquelas que se verificam no caso da rede portuguesa, em comparação com outras redes europeias mais extensas.

Para isso, tornou-se relevante proceder inicialmente a uma revisão da literatura no que respeita aos veículos autónomos. Foram abordadas questões essenciais nesta matéria, como a definição do seu conceito, que varia um pouco de fonte para fonte; a definição dos níveis de automação dos sistemas integrados nos veículos, que de uma forma geral é adoptada a taxonomia proposta pela SAE; ou a legislação vigente em relação à utilização de veículos autónomos, especialmente através das convenções que regem a circulação rodoviária. Foi possível concluir que, entre outros factores, a existência de diferente legislação aos níveis nacional e internacional constitui o principal entrave à introdução generalizada deste tipo de veículos, juntamente com o facto de que estas convenções não prevêem o cenário de automação do veículo. No entanto, no plano europeu verificou-se que estão a

ser desenvolvidos os primeiros esforços oficiais a nível político para a introdução desta tecnologia, nomeadamente através da proposta de emendas à Convenção de Viena por alguns Estados Membros, da assinatura do Tratado de Amesterdão e da realização do *Truck Platooning Challenge* pela CE, tentando assim envolver todos os *stakeholders*. Finalmente, foi evidente o destaque concedido na literatura consultada ao estudo do *truck platooning*, atendendo aos benefícios que esta solução poderá originar, não só para as empresas como também para a sociedade.

Por esta razão, no âmbito deste trabalho optou-se por explorar a utilização do *platooning*. Tendo presentes os objectivos desta Dissertação, foi construído um modelo de optimização em programação linear inteira com base no trabalho desenvolvido por Larsson *et al.* (2015), dado que a metodologia utilizada e o objecto de estudo eram idênticos. Um dos principais desafios experienciados durante o desenvolvimento deste trabalho consistiu em conseguir construir um modelo verossímil que representasse o caso de estudo, mas em que os dados a utilizar como *inputs* e a própria linguagem do modelo fossem suficientemente simples para que o modelo pudesse ser computacionalmente resolvido em tempo útil. Verificou-se *a posteriori* que não seria possível obter uma solução através do modelo para o consumo de combustível num tempo inferior a vários dias. Deste modo, por limitações temporais e dos meios disponíveis para a realização deste trabalho, optou-se por realizar os cálculos do consumo de combustível “manualmente”, tendo por base as rotas optimizadas obtidas nas primeiras experiências com o modelo.

Não obstante, os resultados obtidos são interessantes. Comparando a situação em que os camiões efectuem as suas rotas individualmente (Cenário 1) e a utilização do *platooning* para a realização dessas rotas (Cenário 2), verificaram-se reduções de cerca de 12.1% quer no combustível consumido, quer nas emissões poluentes produzidas, traduzindo-se em reduções anuais de 1 371 500L e 4000 ton, respectivamente. No que respeita ao custo total com combustível, a redução observada é de 12.1%, o que representa uma poupança anual de 1 505 750€. Os valores obtidos para a eficiência em termos de poupança de combustível e de redução de emissões de CO₂ são semelhantes aos visados na abordagem teórica, de 12.5% e 10% respectivamente. Por outro lado, no Cenário 2 a poupança relativa ao custo com combustível gerada pelo *platooning* (2543€/ano/camião) é significativamente superior ao custo da tecnologia (1429€/ano/camião). Assim, considerando estes resultados, verifica-se que os valores obtidos para o caso de estudo da LS se aproximam dos valores teóricos considerados. Por outro lado, é possível reconhecer indicadores favoráveis para a utilização do *platooning* no caso de estudo, e para a continuação do estudo desta tecnologia aplicada à rede de autoestradas portuguesa em particular, bem como a outras redes caracterizadas por curtas distâncias. Desta forma, pode afirmar-se que os objectivos deste trabalho foram alcançados.

Como futuros desenvolvimentos nesta temática, sugere-se:

1. Simplificação da complexidade computacional do modelo desenvolvido neste trabalho, para utilização em casos de estudo com um *depot* de origem servindo vários clientes;

2. Consideração de mais do que um *depot* de origem, analisando não só o planeamento antecipado de serviços *platooning* como também a possibilidade de formação de pelotões *on-the-fly*;
3. Inclusão de parâmetros adicionais, de forma a tornar o modelo mais aproximado à realidade, tais como a velocidade e capacidade dos camiões, o número máximo de horas de condução permitidas aos motoristas, a distância entre camiões no pelotão, ou os efeitos do tráfego e das condições da infraestrutura no pelotão;
4. Aplicação de outras metodologias, como a simulação, para avaliação dos benefícios proporcionados pela utilização do *platooning*.

REFERÊNCIAS

- ACEA. (2016). What is truck platooning? | ACEA - European Automobile Manufacturers' Association. Retrieved November 8, 2016, from <http://www.acea.be/news/article/what-is-truck-platooning>
- Adlen, N. (2015). Automated Highway Test for the Mercedes-Benz Actros with Highway Pilot [News] - The Fast Lane Truck. Retrieved November 3, 2016, from <http://www.tfltruck.com/2015/10/automated-highway-test-run-success-mercedes-benz-actros-highway-pilot/>
- Agência Europeia do Ambiente. (2016a). Final energy consumption by mode of transport. Retrieved June 30, 2017, from <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-final-energy-consumption-by-mode/assessment-6>
- Agência Europeia do Ambiente. (2016b). Total greenhouse gas emissions trends and projections — European Environment Agency. Retrieved October 2, 2016, from <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/greenhouse-gas-emission-trends-6/assessment>
- Agência Europeia do Ambiente. (2016c). Transportes — Agência Europeia do Ambiente. Retrieved October 2, 2016, from <http://www.eea.europa.eu/pt/themes/transport/intro>
- Agra, A., Christiansen, M., Figueiredo, R., Magnus, L., Poss, M., & Requejo, C. (2013). The robust vehicle routing problem with time windows. *Computers & Operations Research*, 40(3), 856–866. <http://doi.org/10.1016/j.cor.2012.10.002>
- AJOT. (2016). Driverless Trucks - Background and views on Truck Platooning: Truck Locator | AJOT.COM. Retrieved October 27, 2016, from <https://www.ajot.com/news/driverless-trucks-background-and-views-on-truck-platooning-truck-locator>
- Almqvist, C. J., & Heinig, K. (2013). European Accident Research and Safety Report 2013. *Volvo Trucks*. Retrieved from [http://www.volvotrucks.com/SiteCollectionDocuments/VTC/Corporate/Values/ART Report 2013_150dpi.pdf](http://www.volvotrucks.com/SiteCollectionDocuments/VTC/Corporate/Values/ART%20Report%202013_150dpi.pdf)
- Altinkemer, K., & Gavish, B. (1991). Parallel Savings Based Heuristics for the Delivery Problem. *Operations Research*, 39(3), 456–469. <http://doi.org/10.1287/opre.39.3.456>
- Amanuel, M. D. (2016). Sweden proposes a progressive legislation for autonomous vehicle trials | Drive Sweden. Retrieved November 5, 2016, from <http://www.drivesweden.net/en/smart-mobility-news-and-comments/sweden-proposes-progressive-legislation-autonomous-vehicle-trials>
- Andersen, B. (2015). Self-Driving Trucks Could Rewrite The Rules For Transporting Freight. Retrieved October 21, 2016, from <http://www.forbes.com/sites/oliverwyman/2015/12/08/self-driving-trucks-could-rewrite-the-rules-for-transporting-freight/#2eda17ce68e4>

- Anderson, J. M., Kalra, N., Stanley, K. D., & Sorensen, P. (2016). *Autonomous Vehicle Technology: A Guide for Policymakers*. RAND Corporation. Retrieved from http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RR400/RR443-2/RAND_RR443-2.pdf
- Andreone, L., Brignolo, R., Damiani, S., Sommariva, F., Vivo, G., & Marco, S. (2010). Deliverable N 8.1.1 Subproject SP8 -HOLA SAFESPOT INTEGRATED PROJECT -IST-4-026963-IP DELIVERABLE HOLA -HORizontal Activities Deliverable No. (use the number indicated on technical annex) SAFESPOT Final Report – Public version. *SAFESPOT Final Report – Public Version*. Retrieved from http://www.transport-research.info/sites/default/files/project/documents/20130329_130257_17414_D8.1.1_Final_Report_Public_v1.0.pdf
- ATBS. (n.d.). Self-Driving Trucks: Are Truck Drivers Out of a Job? | ATBS. Retrieved October 21, 2016, from <http://www.atbsshow.com/self-driving-trucks>
- Augerat, P., Belenguer, J. M., Benavent, E., Corberán, A., Naddef, D., & Rinaldi, G. (1995). Computational results with a branch and cut code for the capacitated vehicle routing problem. *Rapport de Recherche- IMAG*, (January). Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/239062886_Computational_results_with_a_branch_and_cut_code_for_the_capacitated_vehicle_routing_problem
- Badeau, P., Guertin, F., Gendreau, M., Potvin, J.-Y., & Taillard, E. (1997). A parallel tabu search heuristic for the vehicle routing problem with time windows. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 5(2), 109–122. [http://doi.org/10.1016/S0968-090X\(97\)00005-3](http://doi.org/10.1016/S0968-090X(97)00005-3)
- Baldacci, R., Hadjiconstantinou, E., & Mingozzi, A. (2004). An Exact Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing Problem Based on a Two-Commodity Network Flow Formulation. *Operations Research*, 52(5), 723–738. <http://doi.org/10.1287/opre.1040.0111>
- Baratta Jr, R. M. (2015). Rise of the Machines: How Self-Driving Trucks Will Alter the Supply Chain - Inbound Logistics. Retrieved October 9, 2016, from <http://www.inboundlogistics.com/cms/article/rise-of-the-machines-how-self-driving-trucks-will-alter-the-supply-chain/>
- Bard, J. F., Huang, L., Dror, M., & Jaillet, P. (1998). A branch and cut algorithm for the VRP with satellite facilities. *IIE Transactions*, 30, 821–834. <http://doi.org/10.1080/07408179808966528>
- Beasley, J. E. (1983). Route First-Cluster Second Methods for Vehicle Routing. *Imperial College of Science and Technology*. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/John_Beasley/publication/23793206_Route_first-Cluster_second_methods_for_vehicle_routing/links/0fcfd51013de989426000000/Route-first-Cluster-second-methods-for-vehicle-routing.pdf?origin=publication_detail&ev=pub_int_
- Behrmann, E. (2016). Convoys of Automated Trucks Set to Point Way to Driverless Cars - Bloomberg.

- Retrieved October 21, 2016, from <http://www.bloomberg.com/news/articles/2016-04-22/convoys-of-automated-trucks-set-to-point-way-to-driverless-cars>
- Bergenheim, C., Pettersson, H., Coelingh, E., Englund, C., Shladover, S., & Tsugawa, S. (2012). Overview of platooning systems. *Proceedings of the 19th ITS World Congress, Oct 22-26, Vienna, Austria (2012)*. Retrieved from http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/174621/local_174621.pdf
- Berger, J., & Barkaoui, M. (2003). A Hybrid Genetic Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing Problem. *LNCS, 2723*, 646–656. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=92E38EAE4445979C3544C10DA27CAB71?doi=10.1.1.422.2305&rep=rep1&type=pdf>
- Bernhart, W. (2016). Driverless trucks disruption | Blog | 2025AD - Automated Driving, Autonomous Driving. Retrieved October 21, 2016, from <https://www.2025ad.com/in-the-news/blog/driverless-trucks-disruption/>
- Bertoncello, M., & Wee, D. (2015). Ten ways autonomous driving could redefine the automotive world | McKinsey & Company. Retrieved November 8, 2016, from <http://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/ten-ways-autonomous-driving-could-redefine-the-automotive-world>
- Bishop, R., Bowman, D., Boyd, S., Drinkard, D., Kailas, A., Korn, A., ... Williams, D. (2015). White Paper: Automated Driving & Platooning - Issues and Opportunities. *ATA Technology & Maintenance Council, Future Truck Program, Automated Driving and Platooning Task Force*, (2015), 1–48. Retrieved from http://orfe.princeton.edu/~alaink/SmartDrivingCars/ITFVHA15/ITFVHA15_USA_FutureTruck_AD_P_TF_WhitePaper_Draft_Final_TF_Approved_Sept_2015.pdf
- Brandão, J. (2003). A tabu search algorithm for the open vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*. [http://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00238-8](http://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00238-8)
- Bräysy, O., & Gendreau, M. (2005). Vehicle Routing Problem with Time Windows, Part II: Metaheuristics. *Transportation Science*, 39(1), 67–98. <http://doi.org/10.1007/b135457>
- Bräysy, O., & Gendreau, M. (2005). Vehicle Routing Problem with Time Windows , Part I : Route Construction and Local Search Algorithms. *Transportation Science*, 39(July 2015), 104–118. <http://doi.org/10.1287/trsc.1030.0056>
- Browand, F., McArthur, J., & Radovich, C. (2004). Fuel Saving Achieved in the Field Test of Two Tandem Trucks California PATH Research Report. *California PATH Research Report*. Retrieved from <http://its.berkeley.edu/sites/default/files/publications/UCB/2004/PRR/UCB-ITS-PRR-2004-20.pdf>
- Bullis, K. (2011). How Vehicle Automation Will Cut Fuel Consumption. Retrieved October 21, 2016,

from <https://www.technologyreview.com/s/425850/how-vehicle-automation-will-cut-fuel-consumption/>

- Bullnheimer, B., Hartl, R. F., & Strauss, C. (1997). An improved ant system algorithm for the vehicle routing problem. *Preprint*, 1, 1–11. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.49.1415&rep=rep1&type=pdf>
- Bunghez, C. L. (2015). The future of Transportation- Autonomous Vehicles. *International Journal of Economic Practices and Theories*, 5(1), 1–5. <http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Caldas, A., Carpenle, L., & Lorenzo-Freire, S. (2009). A reactive tabu search algorithm for the pickup and delivery routing problem with time windows. *IX Congreso Galego de Estatística E Investigación de Operacións*. Retrieved from http://sidor.uvigo.es/ixsgapeio/resumenes/108_55_paper.pdf
- Calo, R. (2011). Nevada Governor Signs Driverless Car Bill Into Law | Center for Internet and Society. Retrieved October 20, 2016, from <http://cyberlaw.stanford.edu/blog/2011/06/nevada-governor-signs-driverless-car-bill-law>
- CALSTART. (n.d.). Connected and Autonomous Truck. Retrieved November 10, 2016, from http://www.calstart.org/HTUF_cavs.aspx
- Caric, T., & Gold, H. (2008). *Vehicle Routing Problem*. <http://doi.org/10.5772/64>
- CBRE. (2016). Automated Technology: Driving Change in Real Estate. *Transformation of the Global Supply Chain*. Retrieved from <http://www.cbre.com/research-and-reports>
- Center for Advanced Automotive Technology. (2016). Automated and Connected Vehicles. Retrieved November 8, 2016, from http://autocaat.org/Technologies/Automated_and_Connected_Vehicles/
- Center for Transportation Safety. (2016). Follow the Leader: Two-truck Automated Platoon Test is a Winner. Retrieved December 7, 2016, from <https://tti.tamu.edu/group/cts/2016/08/10/follow-the-leader-two-truck-automated-platoon-test-is-a-winner/>
- Chaumier, I., Koymans, A., Lasgouttes, J.-M., & Stam, D. (2015). CATS -City Alternative Transport System Final Report – Publishable Summary. *CATS Final Report*. Retrieved from <http://www.transport-research.info/sites/default/files/project/documents/9721/final1-cats-final-report-final.pdf>
- Che, J. (2015). Self-Driving Trucks Will Actually Be Great For Truckers, For Now | Huffington Post. Retrieved October 21, 2016, from http://www.huffingtonpost.com/entry/self-driving-trucks-will-be-great-for-truckers-for-now_us_5637984ce4b00aa54a4eded9
- Chen, H. K., Hsueh, C. F., & Chang, M. S. (2006). The real-time time-dependent vehicle routing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 42(5), 383–408. <http://doi.org/10.1016/j.tre.2005.01.003>

- Cherkesly, M., Desaulniers, G., Irnich, S., & Laporte, G. (2015). Branch-price-and-cut algorithms for the pickup and delivery problem with time windows and multiple stacks. *European Journal of Operational Research*, 250, 782–793. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.10.046>
- Chiang, W.-C., & Russell, R. A. (1996). Simulated annealing metaheuristics for the vehicle routing problem with time windows. *Annals of Operations Research*, 63(1), 3–27. <http://doi.org/10.1007/BF02601637>
- Choi, S., Hansson, F., Hans-Werner, K., & Newman, J. (2016). Capturing the advanced driver-assistance systems opportunity | McKinsey & Company. Retrieved October 20, 2016, from <http://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/capturing-the-advanced-driver-assistance-systems-opportunity>
- Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of Vehicles From a Central Depot To a Number Of Delivery Points. *College of Science and Technology*. Retrieved from [http://read.pudn.com/downloads160/doc/fileformat/721736/Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points.pdf](http://read.pudn.com/downloads160/doc/fileformat/721736/Scheduling%20of%20vehicles%20from%20a%20central%20depot%20to%20a%20number%20of%20delivery%20points.pdf)
- CNH Industrial. (2016). Iveco deploys semi-automated trucks for world's first ever Truck Platooning Challenge. Retrieved October 22, 2016, from <http://www.prnewswire.com/news-releases/iveco-deploys-semi-automated-trucks-for-worlds-first-ever-truck-platooning-challenge-300246172.html>
- Comissão Europeia. (2011a). Assisting drivers, saving lives | Digital Single Market. Retrieved December 2, 2016, from <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/assisting-drivers-saving-lives>
- Comissão Europeia. (2011b). White Paper - Roadmap to a Single European Transport Area. *EUR-Lex*. Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0144&from=EN>
- Comissão Europeia. (2013). European Commission : CORDIS : Projects & Results Service : Transport research drives off the drawing board. Retrieved December 12, 2016, from http://cordis.europa.eu/result/rcn/91093_en.html
- Comissão Europeia. (2014a). Motoristas profissionais - Comissão Europeia. Retrieved October 21, 2016, from http://ec.europa.eu/transport/road_safety/users/professional-drivers/index_pt.htm
- Comissão Europeia. (2014b). Travelling safely in Europe by road, rail and water. *Communicating Transport Research and Innovation*. <http://doi.org/10.2832/67903>
- Comissão Europeia. (2015a). Automation and INtelligence solutions for Automated Road trAnsport systems | TRIP. Retrieved December 14, 2016, from <http://www.transport-research.info/project/automation-and-intelligence-solutions-automated-road-transport-systems>
- Comissão Europeia. (2015b). Road Safety in the European Union - Trends, Statistics and Main Challenges. *Mobility and Transport*. <http://doi.org/10.2832/404614>

- Comissão Europeia. (2016a). European Commission : CORDIS : Projects & Results Service : Optimise Citizen Mobility and Freight Management in Urban Environments. Retrieved December 14, 2016, from http://cordis.europa.eu/project/rcn/111158_en.html
- Comissão Europeia. (2016b). Managing Automated Vehicles Enhances Network | TRIP. Retrieved December 14, 2016, from <http://www.transport-research.info/project/managing-automated-vehicles-enhances-network>
- Comissão Europeia. (2016c). Reducing emissions from transport - European Commission. Retrieved October 2, 2016, from http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/index_en.htm
- COMPANION. (n.d.). COMPANION – COoperative dynamic forMation of Platoons for sAfe and eNergy-optlmized gOODs transportatioN. Retrieved November 13, 2016, from <http://www.companion-project.eu/>
- Construction Business News. (2016). GCC Road Transport: Gearing up for Driverless Trucks - Construction Business News Middle East. Retrieved October 20, 2016, from <http://www.cbnme.com/logistics-news/gcc-road-transport-gearing-driverless-trucks/>
- Cordeau, J.-F., Laporte, G., Savelsbergh, M. W. P., & Vigo, D. (2007). Chapter 6 Vehicle Routing. *Handbook in OR & MS*, 14(6), 367–428. [http://doi.org/10.1016/S0927-0507\(06\)14006-2](http://doi.org/10.1016/S0927-0507(06)14006-2)
- Cordeau, J. F., Gendreau, M., Hertz, A., Laporte, G., & Sormany, J. S. (2005). Logistics Systems: Design and Optimization. *Les Cahiers Du GERAD*. <http://doi.org/10.1007/0-387-24977-X>
- Cordeau, J. F., Gendreau, M., Laporte, G., Potvin, J. Y., & Semet, F. (2002). A guide to vehicle routing heuristics. *The Journal of the Operational Research Society*. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/c248/ce623d6c899bfaa2ed4b2ad12dfb9d01df96.pdf>
- Correia, G. (2016). Driving to driverless: what will the future look like? Retrieved November 12, 2016, from <https://www.elsevier.com/connect/driving-to-driverless-what-will-the-future-look-like>
- CSCMP. (2016). SCM Definitions and Glossary of Terms. Retrieved April 12, 2017, from https://cscmp.org/imis0/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921,
- DAF. (2016). “EcoTwin” participating in the European Truck Platooning Challenge - DAF Corporate. Retrieved November 12, 2016, from <https://www.daf.com/en/news-and-media/articles/global/2016/q1/22032016-ecotwin-participating-in-the-european-truck-platooning-challenge#>
- DAF & TNO. (2015). DAF and TNO demonstrate “EcoTwin.” DAF. Retrieved from <https://www.daf.com/en/news-and-media/articles/global/2015/q1/27-03-2015-daf-and-tno-demonstrate-ecotwin#>

- Daimler. (n.d.-a). Highway Pilot Connect: networked trucks drive in a convoy for greater safety and lower fuel consumption - Daimler Global Media Site. Retrieved November 8, 2016, from <http://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Highway-Pilot-Connect-networked-trucks-drive-in-a-convoy-for.xhtml?oid=9905211>
- Daimler. (n.d.-b). The Mercedes-Benz Future Truck 2025 – tomorrow’s technology today - Daimler Global Media Site. Retrieved November 14, 2016, from <http://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/The-Mercedes-Benz-Future-Truck-2025-tomorrows-technology-to.xhtml?oid=9904555>
- Daimler. (2014a). Mercedes-Benz Future Truck 2025 | Daimler. Retrieved October 20, 2016, from <https://www.daimler.com/innovation/autonomous-driving/mercedes-benz-future-truck.html>
- Daimler. (2014b). World premiere: Daimler Trucks presents the truck of the future – the self-driving Mercedes-Benz Future Truck 2025. *Investor Relation Release*. Retrieved from <https://www.daimler.com/documents/investors/nachrichten/kapitalmarktmeldungen/daimler-ir-release-en-20140703.pdf>
- Daimler. (2016). Daimler Trucks is connecting its trucks with the internet - Daimler Global Media Site. Retrieved October 8, 2016, from <http://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Daimler-Trucks-is-connecting-its-trucks-with-the-internet.xhtml?oid=9920445>
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6(1), 80–91. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/2627477>
- Davidson, P., & Spinoulas, A. (2015). Autonomous Vehicles - What Could This Mean for the Future of Transport? *AITPM National Conference*.
- Davies, A. (2015). The World’s First Self-Driving Semi-Truck Hits the Road | WIRED. Retrieved October 5, 2016, from <https://www.wired.com/2015/05/worlds-first-self-driving-semi-truck-hits-road/#slide-1>
- Davies, A. (2016). Everyone Wants a Level 5 Self-Driving Car—Here’s What That Means | WIRED. Retrieved October 27, 2016, from <https://www.wired.com/2016/08/self-driving-car-levels-sae-nhtsa/>
- Davila, A. (2013). Report on Fuel Consumption. *SARTRE Project*. Retrieved from http://www.sartre-project.eu/en/publications/Documents/SARTRE_4_003_PU.pdf
- De Jaegere, N., Defraeye, M., & Nieuwenhuyse, I. Van. (2014). The Vehicle Routing Problem: State of the Art Classification and Review. *KU Leuven*. Retrieved from https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/457452/1/KBI_1415.pdf
- Department for Transport. (2015). The pathway to driverless cars: a code of practice for testing. *Department for Transport*. Retrieved from

https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/446316/pathway-driverless-cars.pdf

- Desrochers, M., & Verhoog, T. (1989). A Matching Based Savings Algorithm for the Vehicle Routing Problem. *GERAD*, 1–19. Retrieved from <https://www.gerad.ca/en/papers/G-89-04>
- Dokic, J., Müller, B., & Meyer, G. (2015). European Roadmap Smart Systems for Automated Driving. *European Technology Platform on Smart Systems Integration*. Retrieved from [http://www.smart-systems-integration.org/public/documents/publications/EPoSS Roadmap_Smart Systems for Automated Driving_V2_April 2015.pdf](http://www.smart-systems-integration.org/public/documents/publications/EPoSS_Roadmap_Smart_Systems_for_Automated_Driving_V2_April_2015.pdf)
- DOT. (n.d.). Intelligent Transportation Systems - Automated Vehicle Research. Retrieved October 20, 2016, from http://www.its.dot.gov/automated_vehicle/
- DOT & NHTSA. (2016a). 2016 Update to “Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles.” Retrieved from <http://www.nhtsa.gov/staticfiles/rulemaking/pdf/Autonomous-Vehicles-Policy-Update-2016.pdf>
- DOT & NHTSA. (2016b). Accelerating the Next Revolution In Roadway Safety. *Federal Automated Vehicles Policy*. Retrieved from [https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/docs/AV policy guidance PDF.pdf](https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/docs/AV_policy_guidance_PDF.pdf)
- ECTA. (2011). Guidelines for Measuring and Managing CO2 Emission from Freight Transport Operations. *ECTA*. Retrieved from https://www.ecta.com/resources/Documents/Best Practices Guidelines/guideline_for_measuring_and_managing_co2.pdf
- El-Sherbeny, N. A. (2010). Vehicle routing with time windows: An overview of exact, heuristic and metaheuristic methods. *Journal of King Saud University - Science*, 22(3), 123–131. <http://doi.org/10.1016/j.jksus.2010.03.002>
- ERTRAC. (2015). Automated Driving Roadmap. *Connectivity and Automated Driving*. <http://doi.org/10.3141/2416-08>
- Euro Commercials. (n.d.). Mercedes-Benz Truck of the Future. Retrieved October 20, 2016, from <http://www.eurocommercials.co.uk/future-truck-2025/>
- European Truck Platooning. (n.d.). What is Truck Platooning? - EU Truck Platoon Challenge. Retrieved October 20, 2016, from <https://www.eutruckplatooning.com/About/default.aspx>
- European Truck Platooning Challenge. (2016). European Truck Platooning Challenge 2016. *European Truck Platooning Challenge 2016*. Retrieved from www.eutruckplatooning.com
- European Union. (2014). Tempo de condução no setor dos transportes rodoviários. Retrieved October 21, 2016, from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=URISERV:c00018&from=PT>
- European Union. (2016a). Declaration of Amsterdam: Cooperation in the field of connected and

- automated. *The Netherlands EU Presidency*, (April), 1–9. Retrieved from <http://english.eu2016.nl/binaries/eu2016-en/documents/publications/2016/04/14/declaration-of-amsterdam/2016-04-08-declaration-of-amsterdam-final-format-3.pdf>
- European Union. (2016b). EU ministers to try out self-driving cars in Amsterdam | News item | EU2016.nl. Retrieved October 20, 2016, from <https://english.eu2016.nl/latest/news/2016/04/14/eu-ministers-to-try-out-self-driving-cars-in-amsterdam>
- European Union. (2016c). Mobility and Transport Research Theme Analysis Report - Cooperative Intelligent Transport Systems. *Research Theme Analysis Report*. Retrieved from http://www.transport-research.info/sites/default/files/TRIP_C-ITS_Report.pdf
- European Union. (2016d). The future of mobility in Europe | News item | EU2016.nl. Retrieved October 20, 2016, from <https://english.eu2016.nl/latest/news/2016/04/13/the-future-of-mobility-in-europe>
- European Union. (2016e). Truck platooning: transport with a future | News item | EU2016.nl. Retrieved October 9, 2016, from <https://english.eu2016.nl/latest/news/2016/04/06/truck-platooning-transport-with-a-future>
- Eurostat. (2016). File:Freight transport in the EU-28 (1) modal split of inland transport modes) (% of total tonne-km)new.png - Statistics Explained. Retrieved October 2, 2016, from [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Freight_transport_in_the_EU-28_\(1\)_modal_split_of_inland_transport_modes\)_\(%25_of_total_tonne-km\)new.png](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Freight_transport_in_the_EU-28_(1)_modal_split_of_inland_transport_modes)_(%25_of_total_tonne-km)new.png)
- Faisstnauer, C. (2010). COOPERS integrated project COOPERS Co-operative Networks for Intelligent Road Safety D6100 Final report on demonstration. *Final Report on Demonstration*. Retrieved from http://www.transport-research.info/sites/default/files/project/documents/20130513_134835_11324_D6100_Final_report_on_demonstrations_V1_0.pdf
- Fenger, C. (2015). Driverless Cars: The View from Europe – Connected World. Retrieved October 20, 2016, from <https://connectedworld.com/driverless-cars-the-view-from-europe/>
- Figliozzi, M. A. (2010). An iterative route construction and improvement algorithm for the vehicle routing problem with soft time windows. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 18(5), 668–679. <http://doi.org/10.1016/j.trc.2009.08.005>
- Fisher, M. L., & Jaikumar, R. (1981). A generalized assignment heuristic for vehicle routing. *Networks*, 11(2), 109–124. <http://doi.org/10.1002/net.3230110205>
- Fitzpatrick, A. (2016). Uber's Self-Driving Truck Unit Otto Makes Budweiser Delivery. Retrieved April 12, 2017, from <http://time.com/4544135/uber-otto-self-driving-trucks-budweiser-beer/>
- Flament, M. (2015). Regulatory needs and solutions for deployment of Vehicle and Road Automation (Draft2). *Seventh Framework Programme - Information and Communication Technologies*.

Retrieved from <http://cordis.europa.eu/docs/projects/cnect/7/610737/080/deliverables/001-D322RegulatoryNeeds1.pdf>

Flament, M., & Brizzolara, D. (2015). CARTRE Coordination of Automated Road Transport in Europe. *ITS Europe*.

Flämig, H. (2016). Autonomous Vehicles and Autonomous Driving in Freight Transport. In *Springer* (pp. 365–385). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. http://doi.org/10.1007/978-3-662-48847-8_18

Forrest, A., & Konca, M. (2007). Autonomous Cars and Society. *Worcester Polytechnic Institute*. Retrieved from <https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-043007-205701/unrestricted/IQPOVP06B1.pdf>

Freightliner. (n.d.). Freightliner Inspiration Truck | Freightliner Trucks. Retrieved December 2, 2016, from <https://freightliner.com/why-freightliner/industry-leading-results/introducing-the-freightliner-inspiration-truck/>

Freightliner. (2015a). Freightliner Inspiration Truck Unveiled at Hoover Dam. Retrieved October 20, 2016, from <http://www.freightlinerinspiration.com/newsroom/press/inspiration-truck-unveiled/>

Freightliner. (2015b). Introducing the Freightliner Inspiration Truck | Freightliner Trucks. Retrieved from <https://freightliner.com/why-freightliner/industry-leading-results/introducing-the-freightliner-inspiration-truck/>

Freightliner. (2015c). Technology that Inspires. Retrieved October 20, 2016, from <http://www.freightlinerinspiration.com/technology/>

Frisoni, R., Dall'Oglio, A., Nelson, C., Long, J., Vollath, C., Ranghetti, D., & McMinimy, S. (2016). Research for TRAN Committee - Self-piloted cars: the future for road transport? *European Parliament's Committee on Transport and Tourism*. Retrieved from https://polcms.secure.europarl.europa.eu/cmsdata/upload/0c4d4601-ef73-4318-ab79-9149c4d965de/Self-piloted_cars_provisional_version.pdf

Fukasawa, R., Longo, H., Lysgaard, J., De Aragão, M. P., Reis, M., Uchoa, E., & Werneck, R. F. (2006). Robust branch-and-cut-and-price for the capacitated vehicle routing problem. *Mathematical Programming*, 106(3), 491–511. <http://doi.org/10.1007/s10107-005-0644-x>

Gaffey, C. (2015). Self-Driving Truck Hits German Autobahn in World's First Test Drive. Retrieved November 3, 2016, from <http://europe.newsweek.com/self-driving-truck-hits-german-autobahn-worlds-first-test-drive-334118>

Garner, H. (2016). Supply Chain Hot Trends - Q1 and Q2 2016. *Eyefortransport*. Retrieved from http://img03.en25.com/Web/FCBusinessIntelligenceLtd/%7Bf17f2a55-794d-4565-9aeb-ef94ca53115a%7D_4524_23JUN16_Hot_Tends_Report.pdf?utm_campaign=4524+3PL+06JUL16+Hot+Trends+Autoresponder.htm&utm_medium=email&utm_source=Eloqua&elqTrackId=e6a

83f061175437fbbd80

- Gendreau, M., Guertin, F., Potvin, J. Y., & Séguin, R. (2006). Neighborhood search heuristics for a dynamic vehicle dispatching problem with pick-ups and deliveries. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 14(3), 157–174. <http://doi.org/10.1016/j.trc.2006.03.002>
- Gendron, B., & Crainic, T. G. (1994). Relaxations For Multicommodity Capacitated Network Design Problems. Retrieved from https://www.iro.umontreal.ca/~gendron/Publications/CRT_965.pdf
- Gendron, B., Crainic, T. G., & Frangioni, A. (1997). Multicommodity Capacitated Network Design. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=8558F53F2BAB7B86DB8B335E76B0F33E?doi=10.1.1.115.2849&rep=rep1&type=pdf>
- Ghaziri, H. (1996). Supervision in the Self-Organizing Feature Map: Application to the Vehicle Routing Problem. In *Meta-Heuristics* (pp. 651–660). Boston, MA: Springer US. http://doi.org/10.1007/978-1-4613-1361-8_39
- Gitlin, J. M. (2016). No more two-lane highway headaches? Europe demos semi-autonomous truck platoon | Ars Technica. Retrieved November 8, 2016, from <http://arstechnica.com/cars/2016/04/europe-completes-a-demonstration-of-semi-autonomous-truck-platooning/>
- Glielmo, L. (2011). Vehicle-to-Vehicle/Vehicle-to-Infrastructure Control. *The Impact of Control Technology*. Retrieved from <http://www.ieeecss.org/sites/ieeecss.org/files/documents/loCT-Part4-13VehicleToVehicle-HR.pdf>
- Glover, F. (1986). Paths for Integer Programming. *Computers and Operations Research*, 13(5), 533–549. [http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0305-0548\(86\)90048-1](http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0305-0548(86)90048-1)
- Glover, F. (1989). Tabu Search - Part I. *ORSA Journal on Computing*, 1(3). Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.302.4060&rep=rep1&type=pdf>
- Goldberg, D. E. (1989). *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=534133>
- Goodwin, A. (2015). 4 things you should know about Freightliner's self-driving truck - Roadshow. Retrieved November 14, 2016, from <https://www.cnet.com/roadshow/news/4-things-that-you-should-know-about-freightliners-autonomous-inspiration-truck/>
- Gorzelany, J. (2015). Volvo Will Accept Liability For Its Self-Driving Cars. Retrieved November 8, 2016, from <http://www.forbes.com/sites/jimgorzelany/2015/10/09/volvo-will-accept-liability-for-its-self-driving-cars/#71914e0d3d80>
- Great Dane. (2016). The Next Level of Truck Platooning. Retrieved December 2, 2016, from <http://news.greatdanetrailers.com/the-next-level-of-truck-platooning>

- Griggs, M. B. (2015). Watch As An Autonomous Truck Zooms Down The Autobahn | Popular Science. Retrieved November 8, 2016, from <http://www.popsci.com/autonomous-truck-cruises-down-autobahn>
- Gutiérrez-Jarpa, G., Desaulniers, G., Laporte, G., & Marianov, V. (2010). A branch-and-price algorithm for the Vehicle Routing Problem with Deliveries, Selective Pickups and Time Windows. *European Journal of Operational Research*, 206(2), 341–349. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.02.037>
- Habibović, A. (2015). Rules of the road - An overview of activities related to automated driving. *Viktoria Swedish ICT*. Retrieved from [http://www.vinnova.se/PageFiles/751330217/FFI_resultatkonf_20150917_Vad hander med lagar och regler relaterade till automatiserade fordon.pdf](http://www.vinnova.se/PageFiles/751330217/FFI_resultatkonf_20150917_Vad%20handlar%20med%20lagar%20och%20regler%20relaterade%20till%20automatiserade%20fordon.pdf)
- Hall, L. E. (2016). Iveco Z Concept Truck: A Different Approach to Green Heavy-Duty Trucking. Retrieved October 22, 2016, from <http://www.hybridcars.com/iveco-z-concept-truck-a-different-approach-to-green-heavy-duty-trucking/>
- Hall, R. W. (2016). Vehicle Routing Software Survey. Retrieved February 26, 2017, from http://www.orms-today.org/surveys/Vehicle_Routing/vrss15.html
- Handelsblatt. (2016). Exclusive: German Government Drafts Autonomous Driving Law – Handelsblatt Global Edition. Retrieved November 5, 2016, from <https://global.handelsblatt.com/breaking/exclusive-german-government-drafts-autonomous-driving-law>
- Hard, A. (2015). Mercedes Self-Driving Actros Semi Truck | Pictures, Specs | Digital Trends. Retrieved November 3, 2016, from <http://www.digitaltrends.com/cars/mercedes-self-driving-actros-semi-truck-pictures-specs/>
- Heutger, M., & Kückelhaus, M. (2014). *Self-Driving Vehicles in Logistics*. *DHL Customer Solutions & Innovation*. Retrieved from http://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about_us/logistics_insights/dhl_self_driving_vehicles.pdf
- Hokama, P., Miyazawa, F. K., & Xavier, E. C. (2016). A branch-and-cut approach for the vehicle routing problem with loading constraints. *Expert Systems with Applications*, 47, 1–13. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.10.013>
- Holland, J. H. (1975). *Adaptation in natural and artificial systems : an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. MIT Press. Retrieved from <https://mitpress.mit.edu/books/adaptation-natural-and-artificial-systems>
- Hosny, M. (2011). Heuristic Techniques for Solving the Vehicle Routing Problem with Time Windows. *International Conference on Future Informaion Technology*, 13, 19–23.
- Hottentot, C., Meines, V., & Pinckaers, M. (2015). Experiments on autonomous and automated

- driving: an overview 2015. *ANWB*. Retrieved from http://www.anwb.nl/bestanden/content/assets/anwb/pdf/over-anwb/persdienst/rapport_inventarisatie_zelfrijdende_auto.pdf
- Huff, A. (2015). Dealing with the trade-offs of autonomous trucks. Retrieved November 8, 2016, from <http://www.ccjdigital.com/dealing-with-the-trade-offs-of-autonomous-trucks/>
- Ian Wong, J. (2016). A fleet of trucks just drove themselves across Europe — Quartz. Retrieved October 21, 2016, from <http://qz.com/656104/a-fleet-of-trucks-just-drove-themselves-across-europe/>
- IEEE Connected Vehicles. (2015). Spanish DGT establishes framework for testing automated vehicles on public roads -. Retrieved November 5, 2016, from <http://sites.ieee.org/connected-vehicles/2015/11/16/spanish-dgt-establishes-framework-for-testing-automated-vehicles-on-public-roads-2/>
- IHS Markit. (2014). Self-Driving Cars Moving into the Industry's Driver's Seat | IHS Online Newsroom. Retrieved November 3, 2016, from <http://news.ihsmarket.com/press-release/automotive/self-driving-cars-moving-industrys-drivers-seat>
- Iliiafar, A. (2012). Project Sartre: Volvo autonomous road train travels 120 miles in Spain | Digital Trends. Retrieved November 2, 2016, from <http://www.digitaltrends.com/cars/project-sartre-volvo-road-train-travels-120-miles-autonomously-in-spain/>
- IMT. (n.d.). Sistemas de Apoio à Condução. *Manual Do Ensino Da Condução*. Retrieved from http://www.imtt.pt/sites/IMTT/Portugues/EnsinoConducao/ManuaisEnsinoConducao/Documents/Fichas/FT_SistemasApoioConducao.pdf
- In The Black. (2016a). IN THE BLACK - Bumpy road to the future for autonomous cars. Retrieved November 3, 2016, from <https://intheblack.com/articles/2016/06/01/bumpy-road-to-future-for-autonomous-cars>
- In The Black. (2016b). INTHEBLACK - How driverless trucks will change the economy. Retrieved October 21, 2016, from <https://intheblack.com/articles/2016/07/01/how-driverless-trucks-will-change-the-economy>
- Institute for Automotive Engineering. (n.d.). KONVOI. Retrieved November 2, 2016, from <https://www.ika.rwth-aachen.de/en/research/projects/driver-assistance-vehicle-guidance/1636-konvoi.html>
- Insurance Information Institute. (2016). Self-Driving Cars and Insurance | III. Retrieved November 3, 2016, from <http://www.iii.org/issue-update/self-driving-cars-and-insurance>
- Iveco. (2016a). IVECO Z TRUCK: the Zero-impact concept truck that anticipates the shift to green energy and autonomous driving in long-distance haulage. Retrieved October 22, 2016, from <http://www.iveco.com/en-us/press-room/release/Pages/iveco-iaa2016-iveco-z-truck.aspx>

- Iveco. (2016b). Novo STRALIS by Iveco. Retrieved December 7, 2016, from <https://issuu.com/iveco1975/docs/catalogo-stralis-xp>
- Janssen, G., Zwijnenberg, H., Blankers, I., & de Kruijff, J. (2015). Future of Transportation Truck Platooning. *TNO*, (February), 1–36. Retrieved from <https://www.tno.nl/en/about-tno/news/2015/3/truck-platooning-driving-the-future-of-transportation-tno-whitepaper/>
- Jia, D., & Ngoduy, D. (2016). Enhanced cooperative car-following traffic model with the combination of V2V and V2I communication. *Transportation Research Part B: Methodological*, 90, 172–191. <http://doi.org/10.1016/j.trb.2016.03.008>
- Jornal Oficial da União Europeia. (2005). Parecer do Comité Económico e Social Europeu sobre o «Código da Estrada e do Registo Auto- móvel Europeu». *Jornal Oficial Da União Europeia*. Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52004IE1630&from=PT>
- Kilcarr, S. (2016). Truck fleets wait for further development of autonomous trucks | Fleet Owner. Retrieved October 6, 2016, from <http://fleetowner.com/equipment/autonomous-vehicles-what-fleets-want>
- Kisaco Research. (2015). 4 Major Ways Automated Trucks Will Impact OEMs, Suppliers and Drivers. *Automated Truck Conference USA 2015*. Retrieved from <http://automatedtruckusa.com/wp-content/uploads/2015/09/4-Ways-Automated-Truck-Will-Impact-OEMS.pdf>
- Knapp, A. (2011). Nevada Passes Law Authorizing Driverless Cars. Retrieved October 20, 2016, from <http://www.forbes.com/sites/alexknapp/2011/06/22/nevada-passes-law-authorizing-driverless-cars/#76a513c55b73>
- Knight, W. (2014). 10-4, Good Computer: Automated System Lets Trucks Convoy as One. Retrieved October 9, 2016, from <https://www.technologyreview.com/s/527476/10-4-good-computer-automated-system-lets-trucks-convoy-as-one/>
- Kompfner, P. (2010). Cooperative Vehicle- Infrastructure Systems eSafety – Cooperative systems for road transport Sub-project Title IPMAN Workpackage No. 1 Workpackage Title Project Management. *Final Activity Report*. Retrieved from http://www.transport-research.info/sites/default/files/project/documents/20120713_132648_5935_DEL_CVIS_1.3_FinalActivityReport_PartII_PublishableSummary_V1.0.pdf
- Koslowski, T. (2016). Updated: Autonomous driving levels 0 to 5: Understanding the differences - TechRepublic. Retrieved November 11, 2016, from <http://www.techrepublic.com/article/autonomous-driving-levels-0-to-5-understanding-the-differences/>
- Kuehn, J., & Reiner, J. (2016). A Driverless Future For Freight? *Transport & Logistics*. Retrieved from <http://www.oliverwyman.com/content/dam/oliver-wyman/global/en/2016/may/owtl/07-A->

Driverless-Future-for-Freight.pdf

- Kumar, S. N., & Panneerselvam, R. (2012). A Survey on the Vehicle Routing Problem and Its Variants. *Intelligent Information Management*, 4(3), 66–74. <http://doi.org/10.4236/iim.2012.43010>
- Lammert, M. (2015). Assessing the Fuel-Saving Potential of Semiautomated Truck Platooning. *National Renewable Energy Laboratory*. Retrieved from <http://www.nrel.gov/docs/fy15osti/64133.pdf>
- Laporte, G. (1992). The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, 59(2), 231–247. [http://doi.org/10.1016/0377-2217\(92\)90138-Y](http://doi.org/10.1016/0377-2217(92)90138-Y)
- Laporte, G., Gendreau, M., Potvin, J. Y., & Semet, F. (2000). Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem. *International Transactions in Operational Research*, 7(4–5), 285–300. <http://doi.org/10.1111/j.1475-3995.2000.tb00200.x>
- Laporte, G., Nobert, Y., & Taillefer, S. (1987). A branch-and-bound algorithm for the asymmetrical distance-constrained vehicle routing problem. *Mathematical Modelling*, 9(12), 857–868. [http://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90004-2](http://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90004-2)
- Larsson, E., Sennton, G., & Larson, J. (2015). The vehicle platooning problem: Computational complexity and heuristics. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 60, 258–277. <http://doi.org/10.1016/j.trc.2015.08.019>
- Lavars, N. (2015). Self-driving truck hits the highway in world first. Retrieved November 3, 2016, from <http://newatlas.com/daimlers-production-autonomous-truck-debuts-public-roads/39701/>
- Letchford, A. N., Eglese, R. W., & Lysgaard, J. (2002). Multistars, partial multistars and the capacitated vehicle routing problem. *Mathematical Programming, Series B*, 94(1), 21–40. <http://doi.org/10.1007/s10107-002-0336-8>
- Litman, T. A. (2014). www.vtpi.org Autonomous Vehicle Implementation Predictions Implications for Transport Planning. *Traffic Technology International*, 36–42. Retrieved from www.vtpi.org/AVIP_TTI_Jan2014.pdf
- Lockridge, D. (2015). Can Autonomous Trucks Solve the Driver Shortage? - Article - TruckingInfo.com. Retrieved November 8, 2016, from <http://www.truckinginfo.com/article/story/2015/07/can-autonomous-trucks-solve-the-driver-shortage.aspx>
- Luís Simões. (2017). Homepage » Luís Simões. Retrieved April 28, 2017, from <http://www.luis-simoes.pt/>
- Lumiaho, A., & Malin, F. (2016). Road Transport Automation - Road Map and Action Plan 2016–2020. *Research Reports of the Finnish Transport Agency*. Retrieved from

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lts_2016-19eng_road_transport_web.pdf

- Lund, A. (2016). Advancing vehicle safety at the Insurance Institute for Highway Safety in 2016 (and beyond). *Crash.tech 2016, 2016*. Retrieved from https://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjutISQq43QAhXmhVQKHT_dCzYQFggsMAI&url=http%3A%2F%2Fwww.iihs.org%2Fmedia%2F10237aad-821b-4d4f-bf37-881b9e583d89%2F-IQkbg%2FPresentations%2FLund_crashtech_Apr2016.pdf&u
- Lutz, L. S. (2016). Automated Vehicles in the EU: A Look at Regulations and Amendments | Gen Re. Retrieved November 6, 2016, from <http://www.genre.com/knowledge/publications/cmint16-1-en.html>
- Lysgaard, J., Letchford, A. N., & Eglese, R. W. (2004). A new branch-and-cut algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *Mathematical Programming, 100*(2), 423–445. <http://doi.org/10.1007/s10107-003-0481-8>
- Mårtensson, J., Liang, K.-Y., & Johansson, A. (2011). iQFleet - Intelligent real-time fleet control and management. *iQFleet*. Retrieved from https://intra.kth.se/polopoly_fs/1.273469!/Menu/general/column-content/attachment/iQFleet2.pdf
- Matsuyama, Y. (1991). Self-organization via competition, cooperation and categorization applied to extended vehicle routing problems. *Proceedings. IJCNN-91-Seattle: International Joint Conference on Neural Networks*, (August 1991). <http://doi.org/10.1109/IJCNN.1991.155208>
- Mearian, L. (2016). A fleet of self-driving trucks rumbles across Europe | Computerworld. Retrieved October 20, 2016, from <http://www.computerworld.com/article/3053529/car-tech/a-fleet-of-self-driving-trucks-rumbles-across-europe.html>
- Mele, J. (2016). Daimler Truck demonstrates semi-autonomous platooning on German highway | Fleet Owner. Retrieved October 8, 2016, from <http://fleetowner.com/powertrain/daimler-connects-platooning-industry-transformation>
- Menzies, J. (2016). Daimler demonstrates autonomously driven truck platoon - Truck News. Retrieved October 9, 2016, from <http://www.trucknews.com/transportation/daimler-demonstrates-autonomously-driven-truck-platoon/1003071203/>
- Mercedes-Benz. (2014). World premiere: Daimler Trucks presents the truck of the future. Retrieved November 8, 2016, from <http://www.mercedes-benzsa.co.za/media-room/news/15032387888/world-premiere-daimler-trucks-presents-the-truck-of-the-future/>
- Mercedes-Benz. (2015). World premiere on public roads. - Mercedes-Benz. Retrieved October 20, 2016, from <https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/vehicles/trucks/world-premiere-on-public-roads/>
- Mester, D., & Bräysy, O. (2007). Active-guided evolution strategies for large-scale capacitated vehicle

- routing problems. *Computers and Operations Research*, 34(10), 2964–2975.
<http://doi.org/10.1016/j.cor.2005.11.006>
- Montemanni, R., Gambardella, L. M., Rizzoli, A. E., & Donati, A. V. (2005). Ant Colony System for a Dynamic Vehicle Routing Problem. *Journal of Combinatorial Optimization*, 10, 327–343.
Retrieved from ftp://ftp.idsia.ch/pub/andrea/ASP_Aprile07/JOC2005.pdf
- Mtoi, E. (2015). Fleet Platooning is a Trucking Game Changer - Driverless Transportation. Retrieved November 8, 2016, from <http://www.driverlesstransportation.com/fleet-platooning-is-a-trucking-game-changer-8892>
- Muller, J. (2015). The Road To Self-Driving Cars: A Timeline. Retrieved October 20, 2016, from <http://www.forbes.com/sites/joannmuller/2015/10/15/the-road-to-self-driving-cars-a-timeline/#671611437c1b>
- Munich RE. (2016). Autonomous Vehicles - Considerations for Personal and Commercial Lines Insurers. *Munich Reinsurance America, Inc.* Retrieved from https://www.munichre.com/site/mram-mobile/get/documents_E1725865033/mram/assetpool.mr_america/PDFs/3_Publications/Autonomous_Vehicles.pdf
- Murgia, M. (2016). Britain leads the world in putting driverless vehicles on the roads. Retrieved November 14, 2016, from <http://www.telegraph.co.uk/technology/2016/04/10/britain-is-head-and-shoulders-above-rivals-in-putting-driverless/>
- NationMaster. (2014a). All countries compared for Transport > Road > Motorway density. Retrieved May 5, 2017, from <http://www.nationmaster.com/country-info/stats/Transport/Road/Motorway-density>
- NationMaster. (2014b). All countries compared for Transport > Road > Motorway length. Retrieved May 5, 2017, from <http://www.nationmaster.com/country-info/stats/Transport/Road/Motorway-length>
- Newbold, R. (2016a). Five Driving Forces Behind Driverless Trucks - Inbound Logistics. Retrieved October 21, 2016, from <http://www.inboundlogistics.com/cms/article/five-driving-forces-behind-driverless-trucks/>
- Newbold, R. (2016b). Five factors speeding up the arrival of driverless trucks - Supply Management. Retrieved October 21, 2016, from <https://www.cips.org/supply-management/opinion/2015/july/five-factors-speeding-up-the-arrival-of-driverless-trucks/>
- Newcomer, E., & Webb, A. (2016). Uber Self-Driving Truck Packed With Budweiser Makes First Delivery in Colorado - Bloomberg. Retrieved April 12, 2017, from <https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-10-25/uber-self-driving-truck-packed-with-budweiser-makes-first-delivery-in-colorado>

- Next Big Future. (2015). Next Big Future: Truck Platooning timeline through 2030. Retrieved October 24, 2016, from <http://www.nextbigfuture.com/2015/05/truck-platooning-timeline-through-2030.html>
- NHTSA. (2013a). National Highway Traffic Safety Administration Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles. *National Highway Traffic Safety Administration*, 14.
- NHTSA. (2013b). U.S. Department of Transportation Releases Policy on Automated Vehicle Development | National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). Retrieved from <http://www.nhtsa.gov/About+NHTSA/Press+Releases/U.S.+Department+of+Transportation+Releases+Policy+on+Automated+Vehicle+Development>
- Nordic Logistics Association. (2016). Truck Platooning – How far can it go? Retrieved November 12, 2016, from <http://nla.eu/focus-area/truck-platooning-how-far-can-it-go/>
- Nowak, G., Maluck, J., Stürmer, C., & Pasemann, J. (2016). The era of digitized trucking: Transforming the logistics value chain. Retrieved December 14, 2016, from <http://www.strategyand.pwc.com/reports/era-of-digitized-trucking>
- Nowakowski, C., Shladover, S. E., & Tan, H.-S. (2015). Heavy Vehicle Automation: Human Factors Lessons Learned. *Procedia Manufacturing*, 3(Ahfe), 2945–2952. <http://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.824>
- NREL. (n.d.). Truck Platooning Testing. Retrieved December 10, 2016, from http://www.nrel.gov/transportation/fleetest_platooning.html
- P&S Transportation. (2016). Self-Driving Trucks Could Hit Highways by 2015. Retrieved October 21, 2016, from <http://www.pstrans.com/self-driving-trucks-could-hit-highways-by-2025/>
- Parragh, S. N., & Cordeau, J.-F. (2015). Branch-and-Price for the Truck and Trailer Routing Problem with Time Windows. *Computers and Operations Research*, 83, 28–44. <http://doi.org/10.1016/j.cor.2017.01.020>
- Perry, C. (2015). The Pathway to Driverless Cars: A detailed review of regulations for automated vehicle technologies. *Department for Transport*. <http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Pessoa, A., de Aragão, M. P., & Uchoa, E. (2008). Robust Branch-Cut-and-Price algorithms for vehicle routing problems. *Operations Research/ Computer Science Interfaces Series*, 43, 297–325. http://doi.org/10.1007/978-0-387-77778-8_14
- Peters, J. I., & Elston, D. S. (2012). Literature Review on Recent International Activity in Cooperative Vehicle–Highway Automation Systems Quality Assurance Statement. *The Exploratory Advanced Research Program*. Retrieved from <https://www.fhwa.dot.gov/advancedresearch/pubs/13025/13025.pdf>
- Pillath, S. (2016). Briefing European Parliamentary Research Service. *Members' Research Service*.

- Pilli-Sihvola, E., Miettinen, K., Toivonen, K., Sarlin, L., Kiiski, K., & Kulmala, R. (2015). Robots on land, in water and in the air Promoting intelligent automation in transport services. *Publications of the Ministry of Transport and Communications 14/2015*. Retrieved from <https://www.lvm.fi/documents/20181/514467/Julkaisu+14-2015/0567d84e-2a01-4cb7-9b6f-6148ba47047c?version=1.0>
- Pradenas, L., Oportus, B., & Parada, V. (2013). Mitigation of greenhouse gas emissions in vehicle routing problems with backhauling. *Expert Systems with Applications*, 40(8), 2985–2991. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.12.014>
- Présidence de la République française. (2016). Compte-rendu du Conseil des ministres du mercredi 3 août 2016 - Présidence de la République. Retrieved November 5, 2016, from <http://www.elysee.fr/conseils-des-ministres/article/compte-rendu-du-conseil-des-ministres-du-mercredi-3-aout-201/>
- Prins, C. (2004). A simple and effective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem. *Computers and Operations Research*, 31(12), 1985–2002. [http://doi.org/10.1016/S0305-0548\(03\)00158-8](http://doi.org/10.1016/S0305-0548(03)00158-8)
- Ralphs, T. K., Kopman, L., Pulleyblank, W. R., & Trotter, L. E. (2003). On the capacitated vehicle routing problem. *Mathematical Programming, Ser. B*, 94(January 2003), 343–359. <http://doi.org/10.1007/s10107-002-0323-0>
- Rathore, A. S. (2016). State-of-the-Art Self Driving Cars: Comprehensive Review. *International Journal of Conceptions on Computing and Information Technology*, 4(1), 2345–9808.
- Reimann, M., Doerner, K., & Hartl, R. F. (2004). D-ants: Savings based ants divide and conquer the vehicle routing problem. *Computers and Operations Research*, 31(4), 563–591. [http://doi.org/10.1016/S0305-0548\(03\)00014-5](http://doi.org/10.1016/S0305-0548(03)00014-5)
- Renaud, J., Boctor, F. F., & Laporte, G. (1996). An Improved Petal Heuristic for the Vehicle Routing. *Journal of the Operational Research Society*. Retrieved from <http://www.fsa.ulaval.ca/personnel/renaudj/pdf/Recherche/Improved Petal.pdf>
- Reuters. (2016). Germany to require “black box” in autonomous cars | Reuters. Retrieved November 5, 2016, from <http://www.reuters.com/article/us-germany-autos-idUSKCN0ZY1LT>
- RoadStars. (n.d.). Future Truck 2025 and Highway Pilot - RoadStars. Retrieved October 20, 2016, from https://roadstars.mercedes-benz.com/en_GB/events/2015/october/future-truck-2025.html
- Rochat, Y., & Taillard, É. D. (1995). Probabilistic Diversification And Intensification In Local Search For Vehicle Routing. *Journal of Heuristics*, 95/03, 95–13. Retrieved from <http://dmawww.epfl.ch/rose.mosaic/rochat.html>
- Roeth, M. (2013). CR England Peloton Technology Platooning Test Nov 2013. *CR England Peloton Technology Platooning Test Nov 2013*. Retrieved from <http://nacfe.org/wp->

content/uploads/2013/12/CR-England.pdf

- Roland Berger. (2016). Automated Trucks - The next big disruptor in the automotive industry? *Roland Berger Study*. Retrieved from https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_automated_trucks_20160517.pdf
- Rosen, D. (2016). *Autonomously Driving Toward the Future*. Retrieved April 12, 2017, from <https://blueprint.cbre.com/autonomously-driving-towards-the-future/>
- Ryan, D. M., Hjorring, C., & Glover, F. (1993). Extensions of the Petal Method for Vehicle Routing. *Operational Research Society*. Retrieved from <http://www2.imm.dtu.dk/courses/02735/hjorring.pdf>
- SAE International. (2014). SAE International Standard J3016. *Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems*. Retrieved from http://www.sae.org/misc/pdfs/automated_driving.pdf
- Santens, S. (2015). Self-Driving Trucks Are Going to Hit Us Like a Human-Driven Truck – Basic income – Medium. Retrieved December 26, 2016, from <https://medium.com/basic-income/self-driving-trucks-are-going-to-hit-us-like-a-human-driven-truck-b8507d9c5961#.lpykb05bf>
- SARTRE. (2013). PROJECT FINAL REPORT. *SARTRE Project*. Retrieved from http://www.sartre-project.eu/en/publications/Documents/SARTRE_Final-Report.pdf
- Sbihi, A., & Eglese, R. W. (2007). The Relationship between Vehicle Routing & Scheduling and Green Logistics - A Literature Survey. *Lancaster University Management School*, 1–24.
- Scania. (2015). Platooning saves up to 12 percent fuel | Scania Group. Retrieved November 14, 2016, from <https://www.scania.com/group/en/platooning-saves-up-to-12-percent-fuel/>
- Scania. (2016). Important next step for autonomous vehicles | Scania Group. Retrieved November 4, 2016, from <https://www.scania.com/group/en/important-next-step-for-autonomous-vehicles/>
- Schulze, J., & Fahle, T. (1999). A parallel algorithm for the vehicle routing problem with time window constraints. *Annals of Operations Research*, 86(0), 585–607. <http://doi.org/10.1023/A:1018948011707>
- Sharman, A. (2015). Self-drive trucks bring new era for hauliers. Retrieved December 16, 2016, from <https://www.ft.com/content/d65866ec-982b-11e5-95c7-d47aa298f769>
- Sia Partners. (2016). Platooning Towards Sustainable Road Freight Transportation - The Benefits, Drawbacks and Future Outlook. *INSIGHT*. Retrieved from http://transport.sia-partners.com/sites/default/files/insight_platooning_-_benefits_drawbacks_and_future_outlook.pdf
- Sicilia, J.-A., Royo, B., Larrodé, E., & Fraile, A. (2014). A Decision Support System for a Long-distance Routing Problem based on the Ant Colony Optimization Metaheuristic. *Procedia - Social*

- and *Behavioral Sciences*, 111, 1035–1044. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.138>
- Singh, S. (2016). Future Of Logistics: Five Technologies That Will Self-Orchestrate The Supply Chain. Retrieved December 9, 2016, from <http://www.forbes.com/sites/sarwantsingh/2016/09/22/future-of-logistics-5-technologies-that-will-self-orchestrate-the-supply-chain/3/#18d30f4e3602>
- Solomon, M. M. (1987). Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints. *Operations Research*, 35(2), 254–265. Retrieved from <http://links.jstor.org/sici?sici=0030-364X%28198703%2F04%2935%3A2%3C254%3AAFTVRA%3E2.0.CO%3B2-E>
- Solon, O. (2016). Self-driving trucks: what's the future for America's 3.5 million truckers? | Technology | The Guardian. Retrieved December 26, 2016, from <https://www.theguardian.com/technology/2016/jun/17/self-driving-trucks-impact-on-drivers-jobs-us>
- Sreenivas, M., & Srinivas, T. (2008). The Role of Transportation in Logistics Chain. *Society for Industrial and Applied Mathematics*. Retrieved from <https://www.siam.org/journals/plagiary/1814.pdf>
- Steffens, T. (2016). "Rail freight loses market share to self-driving road transport" | RailTech.com. Retrieved December 17, 2016, from <http://www.railtech.com/news/all/2016/08/22/rail-freight-loses-market-share-to-self-driving-road-transport/>
- Stewart, J. (2016). \$30K Retrofit Turns Dumb Semis Into Self-Driving Robots | WIRED. Retrieved October 2, 2016, from <https://www.wired.com/2016/05/otto-retrofit-autonomous-self-driving-trucks/>
- Stupp, C. (2016). Member states divided over driverless car agreement – EurActiv.com. Retrieved October 20, 2016, from <https://www.euractiv.com/section/digital/news/member-states-divided-over-driverless-car-agreement/>
- Taillard, E. D., Gambardella, L. M., Gendreau, M., & Potvin, J.-Y. (2000). Adaptive memory programming: A unified view of metaheuristics. *European Journal of Operational Research*. Retrieved from http://people.idsia.ch/~luca/ejor135_1_1_16.pdf
- Talebpour, A., & Mahmassani, H. S. (2016). Influence of connected and autonomous vehicles on traffic flow stability and throughput. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 71, 143–163. <http://doi.org/10.1016/j.trc.2016.07.007>
- Tasan, A. S., & Gen, M. (2012). A genetic algorithm based approach to vehicle routing problem with simultaneous pick-up and deliveries. *Computers & Industrial Engineering*, 62(3), 755–761. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2011.11.025>
- Tavasszy, L. A. (2016). Eu truck platooning: Logistics business case. Retrieved December 26, 2016, from

<https://www.eutruckplatooning.com/Workspace/Conference+Truck+Platooning+Challenge+7+April+2016/default.aspx#folder=478358>

The Boston Consulting Group. (n.d.). *bcg.perspectives - Revolution Versus Regulation: The Make-or-Break Questions About Autonomous Vehicles*. Retrieved November 6, 2016, from <https://www.bcgperspectives.com/content/articles/automotive-revolution-versus-regulation-make-break-questions-autonomous-vehicles/?chapter=5>

The Guardian. (2016). *Convoy of self-driving trucks completes first European cross-border trip* | The Guardian. Retrieved October 9, 2016, from <https://www.theguardian.com/technology/2016/apr/07/convoy-self-driving-trucks-completes-first-european-cross-border-trip>

TNS Opinion & Social. (2015). *Autonomous Systems. Special Eurobarometer 427*. <http://doi.org/10.2759/413916>

Toro O., E. M., Escobar Z., A. H., & Granada E., M. (2015). Literature Review on the Vehicle Routing Problem in the Green Transportation Context. *Luna Azul*, (42), 362–387. <http://doi.org/10.17151/luaz.2016.42.21>

Toth, P., & Vigo, D. (2002). Models, relaxations and exact approaches for the capacitated vehicle routing problem. *Discrete Applied Mathematics*, 123(1–3), 487–512. [http://doi.org/10.1016/S0166-218X\(01\)00351-1](http://doi.org/10.1016/S0166-218X(01)00351-1)

Townsend, E. (2016). *Prioritising the Safety Potential of Automated Driving in Europe*. *European Transport Safety Council*. Retrieved from http://etsc.eu/wp-content/uploads/2016_automated_driving_briefing_final.pdf

Transparency Market Research. (2016). *Autonomous Trucks Market - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Forecast 2024*. Retrieved December 17, 2016, from <http://www.transparencymarketresearch.com/autonomous-trucks-market.html>

Transport Topics. (2014). *Truck Platooning System Tested in Nevada* | Transport Topics. Retrieved October 9, 2016, from <http://www.ttnews.com/articles/basetemplate.aspx?storyid=35167>

Tsugawa, S. (2013). *Final Report on an Automated Truck Platoon within Energy ITS Project*. *International Task Force on Vehicle Highway Automation 17th Annual Meeting*. Retrieved from http://orfe.princeton.edu/~alaink/SmartDrivingCars/ITFVHA13/ITFVHA13_JP_Energy_ITS_Tsugawa.pdf

UNECE. (1968). *Part I: Convention on Road Traffic*. *Convention on Road Traffic*. Retrieved from https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/conventn/Conv_road_traffic_EN.pdf

UNECE. (1995). *Agreement - Concerning the adoption of uniform technical prescriptions for wheeled vehicles, equipment and parts*. *Inland Transport Committee*, (March 1958). Retrieved from <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/505ep29.pdf>

- UNECE. (2005). Uniform Provisions Concerning The Approval of Vehicles With Regard to Steering Equipment. *UNECE*, (March 1958), 1–37. Retrieved from <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/r079r2e.pdf>
- UNECE. (2014). Working Party on Road Traffic Safety Report of the sixty-eighth session of the Working Party on Road Traffic Safety. *Report of the Sixty-Eighth Session of the Working Party on Road Traffic Safety*. Retrieved from <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2014/wp1/ECE-TRANS-WP1-145e.pdf>
- UNECE. (2016). UNECE paves the way for automated driving by updating UN international convention. Retrieved November 7, 2016, from <http://www.unece.org/info/media/presscurrent-press-h/transport/2016/unece-paves-the-way-for-automated-driving-by-updating-un-international-convention/doc.html>
- van Doremalen, K. P. J., Nijmeijer, H., Johansson, H., & Besselink, I. J. M. (2014). Platoon coordination and routing. *Eindhoven University of Technology, 2014.050*.
- van Haegen, M. S. (2016). A fleet of self-driving trucks rumbles across Europe | Computerworld. Retrieved November 13, 2016, from <http://www.computerworld.com/article/3053529/car-tech/a-fleet-of-self-driving-trucks-rumbles-across-europe.html>
- Van Meldert, B., & De Boeck, L. (2016). Introducing autonomous vehicles in logistics: a review from a broad perspective. *KBI_1618*. Retrieved from https://irias.kuleuven.be/bitstream/123456789/543558/1/KBI_1618.pdf
- Veríssimo, A. (2016). Governo avança com legislação para carros autónomos - Tecnologias - Jornal de Negócios. Retrieved November 21, 2016, from <http://www.jornaldenegocios.pt/empresas/tecnologias/detalhe/governo-avanca-com-legislacao-para-carros-autonomos>
- Vidal, T., Crainic, T. G., Gendreau, M., & Prins, C. (2013). A hybrid genetic algorithm with adaptive diversity management for a large class of vehicle routing problems with time-windows. *Computers and Operations Research, 40*(1), 475–489. <http://doi.org/10.1016/j.cor.2012.07.018>
- Wark, P., & Holt, J. (1994). A Repeated Matching Heuristic for the Vehicle Routeing Problem. *The Journal of the Operational Research Society, 45*(10), 1156. <http://doi.org/10.2307/2584478>
- Watt, T. (2016). Intelligent Mobility - innovateuk. Retrieved November 3, 2016, from <https://connect.innovateuk.org/web/intelligent-mobility/article-view/-/blogs/removing-barriers-to-connected-and-autonomous-vehicles-in-europe-agreement-on-standards-and-parliament-discusses-need-for-public-reassurance>
- Weber, M. (2014). Where to? A History of Autonomous Vehicles. Retrieved May 22, 2017, from <http://www.computerhistory.org/atcm/where-to-a-history-of-autonomous-vehicles/>
- Williams, A. (2014). Taking your hands off the wheel - Automotive Logistics. Retrieved October 2,

2016, from <http://automotive.logistics.media/intelligence/taking-your-hands-off-the-wheel>

Wyke, T. (2015). Driverless truck is tested on the German autobahn for the first time | Daily Mail Online. Retrieved November 14, 2016, from <http://www.dailymail.co.uk/news/article-3258829/Driverless-truck-tested-German-autobahn-time-using-radar-cameras-stop-crashing-motorists.html>

Yadron, D., & Tynan, D. (2016). Tesla driver dies in first fatal crash while using autopilot mode | Technology | The Guardian. Retrieved November 24, 2016, from <https://www.theguardian.com/technology/2016/jun/30/tesla-autopilot-death-self-driving-car-elon-musk>

Yen, R., & Lyoen, C. (2012). ITS ACTION PLAN D6 – Final Report of the Study regarding liability aspects of ITS applications and services EUROPEAN COMMISSION Directorate-General for Mobility and Transport. *ITS Action Plan - Action 5.2*. Retrieved from http://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/its/studies/doc/2012-liability-_aspects-of-its-final_report.pdf

Zhang, G., Lu, J., & Gao, Y. (2015). Multi-Level Decision Making. *Springer*. <http://doi.org/10.1007/978-3-662-46059-7>

ANEXO I – NÚMERO DE CAMIÕES REFERENTE A CADA ROTA

Concelho	Código	Total de camiões	Camiões em platooning	Nº pelotões	Camiões no modelo
Abrantes	S1	1	0	0	1
Águeda	S2	6	6	3	0
Albergaria-a-Velha	S3	2	2	1	0
Albufeira	S4	13	12	6	1
Alcácer do Sal	S5	4	4	2	0
Alcanena	S6	1	0	0	1
Alcobaça	S7	5	4	2	1
Alcochete	S8	2	2	1	0
Aljezur	S10	1	0	0	1
Almada	S11	86	86	43	0
Almeirim	S12	1	0	0	1
Almodôvar	S13	2	2	1	0
Alvito	S14	1	0	0	1
Amadora	S15	1	0	0	1
Amarante	S16	5	4	2	1
Anadia	S17	1	0	0	1
Avis	S19	1	0	0	1
Baião	S21	1	0	0	1
Barcelos	S22	7	6	3	1
Barreiro	S23	2	2	1	0
Batalha	S24	1	0	0	1
Braga	S28	24	24	12	0
Bragança	S29	1	0	0	1
Caldas da Rainha	S31	1	0	0	1
Caminha	S32	2	2	1	0
Campo Maior	S33	2	2	1	0
Cantanhede	S34	4	4	2	0
Cascais	S35	9	8	4	1
Castelo Branco	S36	13	12	6	1
Castelo de Vide	S37	3	2	1	1
Coimbra	S40	23	22	11	1
Covilhã	S41	3	2	1	1
Espinho	S42	1	0	0	1
Estremoz	S44	2	2	1	0
Évora	S45	7	6	3	1
Fafe	S46	3	2	1	1
Faro	S47	15	14	7	1
Felgueiras	S48	5	4	2	1
Figueira da Foz	S49	11	10	5	1
Fundão	S50	2	2	1	0
Gondomar	S51	6	6	3	0
Guarda	S52	1	0	0	1
Guimarães	S53	14	14	7	0
Lagoa	S55	4	4	2	0
Lagos	S56	10	10	5	0
Lamego	S57	1	0	0	1
Leiria	S58	23	22	11	1

Concelho	Código	Total de camiões	Camiões em platooning	Nº pelotões	Camiões no modelo
Loulé	S60	6	6	3	0
Loures	S61	21	20	10	1
Lourinhã	S62	1	0	0	1
Macedo de Cavaleiros	S65	6	6	3	0
Mafra	S66	2	2	1	0
Matosinhos	S70	11	10	5	1
Mirandela	S72	4	4	2	0
Monção	S75	2	2	1	0
Monchique	S76	2	2	1	0
Montemor-o-Velho	S77	1	0	0	1
Mora	S79	1	0	0	1
Murtosa	S80	3	2	1	1
Óbidos	S82	1	0	0	1
Odivelas	S83	2	2	1	0
Oeiras	S84	3	2	1	1
Oliveira do Hospital	S88	1	0	0	1
Ovar	S91	6	6	3	0
Paços de Ferreira	S92	11	10	5	1
Pampilhosa da Serra	S94	1	0	0	1
Paredes	S95	1	0	0	1
Penafiel	S96	9	8	4	1
Peso da Régua	S98	2	2	1	0
Pinhel	S99	1	0	0	1
Pombal	S100	1	0	0	1
Ponte de Lima	S101	4	4	2	0
Portimão	S103	8	8	4	0
Porto	S104	25	24	12	1
Póvoa de Varzim	S107	14	14	7	0
Santa Maria da Feira	S113	3	2	1	1
Santarém	S114	2	2	1	0
Santo Tirso	S115	2	2	1	0
Seia	S117	1	0	0	1
Seixal	S118	1	0	0	1
Silves	S122	6	6	3	0
Sintra	S124	5	4	2	1
Tavira	S125	7	6	3	1
Tomar	S126	1	0	0	1
Torres Novas	S129	5	4	2	1
Valongo	S134	13	12	6	1
Viana do Castelo	S136	1	0	0	1
Vila do Bispo	S138	1	0	0	1
Vila do Conde	S139	9	8	4	1
V. N. Famalicão	S142	7	6	3	1
V. N. Gaia	S143	33	32	16	1
Vila Real	S145	11	10	5	1
Total		592	-	266	60

ANEXO II – DISTÂNCIA PERCORRIDA EM CADA ROTA

Destino	Comprimento rota (km)	Total camiões	Distância percorrida (km)
S1	131.4	1	131.4
S2	231.6	6	1389.6
S3	250.2	2	500.4
S4	296.2	13	3850.6
S5	112.0	4	448.0
S6	94.3	1	94.3
S7	142.6	5	713.0
S8	47.5	2	95.0
S10	343.7	1	343.7
S11	28.1	86	2416.6
S12	56.1	1	56.1
S13	225.0	2	450.0
S14	150.0	1	150.0
S15	40.7	1	40.7
S16	361.0	5	1805.0
S17	208.0	1	208.0
S19	131.0	1	131.0
S21	349.4	1	349.4
S22	366.5	7	2565.5
S23	64.8	2	129.6
S24	112.7	1	112.7
S28	357.8	24	8587.2
S29	508.5	1	508.5
S31	118.0	1	118.0
S32	398.3	2	796.6
S33	235.2	2	470.4
S34	201.2	4	804.8
S35	61.9	9	557.1
S36	212.6	13	2763.8
S37	171.7	3	515.1
S40	180.4	23	4149.2
S41	261.4	3	784.2
S42	286.9	1	286.9
S44	191.9	2	383.8
S45	146.2	7	1023.4
S46	370.5	3	1111.5
S47	292.5	15	4387.5
S48	354.8	5	1774.0
S49	201.1	11	2212.1
S50	439.4	2	878.8
S51	319.3	6	1915.8
S52	303.5	1	303.5
S53	354.0	14	4956.0
S55	314.2	4	1256.8
S56	337.7	10	3377.0
S57	374.2	1	374.2
S58	128.3	23	2950.9
S60	287.6	6	1725.6

Destino	Comprimento rota (km)	Total camiões	Distância percorrida (km)
S61	28.5	21	598.5
S62	63.2	1	63.2
S65	366.1	6	2196.6
S66	47.0	2	94.0
S70	312.3	11	3435.3
S72	451.1	4	1804.4
S75	420.6	2	841.2
S76	208.5	2	417.0
S77	193.4	1	193.4
S79	61.4	1	61.4
S80	256.7	3	770.1
S82	114.9	1	114.9
S83	31.7	2	63.4
S84	50.5	3	151.5
S88	196.3	1	196.3
S91	269.0	6	1614.0
S92	339.0	11	3729.0
S94	163.7	1	163.7
S95	336.5	1	336.5
S96	341.4	9	3072.6
S98	384.5	2	769.0
S99	308.1	1	308.1
S100	152.5	1	152.5
S101	406.5	4	1626.0
S103	322.1	8	2576.8
S104	308.3	25	7707.5
S107	338.4	14	4737.6
S113	273.5	3	820.5
S114	64.1	2	128.2
S115	331.2	2	662.4
S117	309.2	1	309.2
S118	70.4	1	70.4
S122	258.4	6	1550.4
S124	53.5	5	267.5
S125	322.2	7	2255.4
S126	125.2	1	125.2
S129	102.5	5	512.5
S134	320.5	13	4166.5
S136	375.6	1	375.6
S138	340.4	1	340.4
S139	325.6	9	2930.4
S142	336.4	7	2354.8
S143	301.7	33	9956.1
S145	391.9	11	4310.9
Total	21 926.4	592	133 884.2

ANEXO III – MODELO DE OPTIMIZAÇÃO

```
model "mVRP for UDC"
uses "mmxprs", "mmive", "advmod", "mmodbc";
parameters
    DATAFILE = "data52.dat"
end-parameters
declarations
    NODES: set
    NODE_X:array(NODES) of real
    NODE_Y:array(NODES) of real
    DEMAND: dynamic array (NODES) of real      !Demand of customer j
    TRANS_COST: dynamic array (NODES,NODES) of real
    PLATOON=1..7
    TRUCKS=1..7
    saving_factor = 0.875
    maxTrucks = 2
end-declarations
initializations from DATAFILE
    NODES
    DEMAND
    NODE_X
    NODE_Y
    TRANS_COST
end-initializations
!Decision Variables
Declarations
ASSIGN: dynamic array (NODES,NODES,TRUCKS,PLATOON) of mpvar
!ASSIGN=1 if vehicle n goes from node i to customer j
USED: dynamic array (NODES,NODES,PLATOON) of mpvar
!b=1 if arc i to j is used
FUEL_SAVING: dynamic array (NODES,NODES,PLATOON) of mpvar
!g value of fuel cost in arc i to j
TOTAL_TRUCKS: dynamic array(NODES,NODES,PLATOON) of mpvar
!total trucks in arc i to j
TRUCKS_IN_PLATOON: array(PLATOON) of mpvar
!total trucks used
end-declarations
```

```

forall(i,j in NODES, p in PLATOON | exists(TRANS_COST(i,j)))
  do create(FUEL_SAVING(i,j,p))

  create(TOTAL_TRUCKS(i,j,p))

  create(USED(i,j,p))

  forall(t in TRUCKS) do
    create(ASSIGN(i,j,t,p))
  end-do

end-do

!Objective Function

COST := sum(i,j in NODES, t in PLATOON) TRANS_COST(i,j)*FUEL_SAVING(i,j,t)

!Constraints

forall(j in NODES, n in TRUCKS, t in PLATOON) sum(i in NODES) ASSIGN(i,j,n,t)
= sum(k in NODES) ASSIGN(j,k,n,t)

forall(j in NODES) sum(i in NODES, n in TRUCKS, t in PLATOON) ASSIGN(i,j,n,t)
>= DEMAND(j)

forall(i,j in NODES, t in PLATOON) FUEL_SAVING(i,j,t) = USED(i,j,t) +
saving_factor*((sum(n in TRUCKS) ASSIGN(i,j,n,t)) - USED(i,j,t))

forall(i,j in NODES, n in TRUCKS, t in PLATOON) USED(i,j,t) >= ASSIGN(i,j,n,t)

forall(j in NODES, n in TRUCKS, t in PLATOON) ASSIGN(j,j,n,t) = 0

forall(j in NODES) sum(n in TRUCKS, t in PLATOON) ASSIGN(j,"ORIGEM",n,t) =
DEMAND(j)

forall(i,j in NODES, t in PLATOON) TOTAL_TRUCKS(i,j,t) = sum(n in TRUCKS)
ASSIGN(i,j,n,t)

forall(t in PLATOON) TRUCKS_IN_PLATOON(t) = sum(j in NODES, n in TRUCKS)
ASSIGN("ORIGEM",j,n,t)

forall(t in PLATOON) TRUCKS_IN_PLATOON(t) <= maxTrucks !max trucks in each
platoon

forall(i,j in NODES, n in TRUCKS, t in PLATOON) ASSIGN(i,j,n,t) is_binary

forall(i,j in NODES, t in PLATOON) USED(i,j,t) is_binary

!Objective

minimize(COST)

writeln("COST =\t", getsol(COST))

forall(j in NODES | DEMAND(j)>0) do
  writeln("NODE\t", j, "\tDEMAND\t", DEMAND(j))
end-do

writeln("ASSIGN\nNode\tNode\tTRUCK")

forall(t in PLATOON, n in TRUCKS) do
  forall(i,j in NODES | getsol(ASSIGN(i,j,n,t)) >= 1) do
    writeln(i, "\t", j, "\t", n, "\t", t, "\t", getsol(ASSIGN(i,j,n,t)))
  end-do
end-do

```

```

writeln("\n-----\n")
writeln("FUEL_SAVING\nNode\tNode\tFUEL_SAVING")
forall(i,j in NODES, t in PLATOON | getsol(FUEL_SAVING(i,j,t)) >= 1)
    do writeln(i, "\t", j, "\t", t, "\t", getsol(FUEL_SAVING(i,j,t)))
end-do
writeln("\n-----\n")
writeln("TOTAL_TRUCKS\nNode\tNode\tTOTAL_TRUCKS")
forall(i,j in NODES, t in PLATOON | getsol(TOTAL_TRUCKS(i,j,t)) >= 1)
    do writeln(i, "\t", j, "\t", t, "\t", getsol(TOTAL_TRUCKS(i,j,t)))
end-do
writeln("\n-----\n")
writeln("USED\nNode\tNode\tUSED")
forall(i,j in NODES, t in PLATOON | getsol(USED(i,j,t)) >= 1)
    do writeln(i, "\t", j, "\t", t, "\t", getsol(USED(i,j,t)))
end-do
writeln("\n-----\n")
!Draw Graphic
IVEzoom(min(i in NODES)NODE_X(i)-5,min(i in NODES)NODE_Y(i)-5,
        max(i in NODES)NODE_X(i)+5,max(i in NODES)NODE_Y(i)+5)
NodesGraph:= IVEaddplot("Nodes", IVE_BLUE)
forall (i in NODES) do
    IVEdrawpoint (NodesGraph, NODE_X(i), NODE_Y(i))
end-do
NodesGraph:= IVEaddplot("Nodes Label", IVE_BLUE)
forall (i in NODES) do
    IVEdrawlabel (NodesGraph, NODE_X(i), NODE_Y(i), i)
end-do
AtribGraph_ARCS:= IVEaddplot("ARCS", IVE_GREEN)
forall (i,j in NODES | TRANS_COST(i,j) > 0) do
    IVEdrawarrow(AtribGraph_ARCS, NODE_X(i), NODE_Y(i), NODE_X(j), NODE_Y(j))
end-do
end-model

```