

Impacte energético e económico de medidas de eficiência energética numa frota de veículos pesados de mercadorias

Maria Teresa Tavares Louro Correia Ramalho

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Mecânica

Orientadores: Dr. Patrícia de Carvalho Baptista

Dr. Rui Pedro da Costa Neto

Júri

Presidente: Prof. Edgar Caetano Fernandes

Orientador: Dr. Patrícia de Carvalho Baptista

Vogal: Dr. Catarina Maria da Cunha de Eça Calhau Rolim

Janeiro 2021

Agradecimentos

Gostaria de começar por agradecer aos meus pais, aos meus irmãos e a toda a minha família por me terem apoiado incondicionalmente durante toda a minha vida e por me ajudarem em tudo o que precisei.

À Doutora Patrícia Baptista e ao Professor Rui Costa Neto pela disponibilidade, acompanhamento constante e paciência para todas as minhas dúvidas.

Ao Luís Gama, ao António Dominginhos e a todos os funcionários da empresa *Transportes Gama* por me receberem na empresa cordialmente, por me ajudarem e por me terem fornecido toda a base de dados que serviu de suporte a esta dissertação.

Agradeço também de forma especial ao meu namorado João, por todo o seu apoio ao longo deste projeto, bem como a paciência e afeto ao longo de todos estes anos.

Aos meus amigos e amigas mais próximos e a todos os meus colegas de curso por todos estes anos de amizade, camaradagem e entreajuda.

Resumo

O objetivo desta dissertação foi o de quantificar o impacto energético e económico resultante da aplicação de medidas de eficiência energética na frota automóvel da empresa *Transportes Gama* com o intuito de diminuir o consumo energético da mesma. Procedeu-se à caracterização energética da frota e foram analisadas variáveis que influenciam o consumo por idade dos condutores e por anos de experiência. Também foram estudadas medidas de redução de consumo energético e o impacto da pandemia de COVID-19.

A 1ª medida consistiu na renovação da frota através da utilização de viaturas Euro 6, substituindo 104 veículos menos eficientes por modelos com menor consumo, o que reduz o consumo energético em 11%. O tempo de retorno do investimento desta medida são 15 anos. A 2ª medida consistiu no estudo da eficácia de ações de formação e na análise do potencial de eco-condução. Esta medida reduz o consumo energético em 6,5% e o seu tempo de retorno do investimento é 1 mês. A 3ª medida estuda o impacto económico da introdução de viaturas de tecnologias de propulsão alternativas na empresa (veículos elétricos e a pilha de combustível). A introdução de veículos elétricos diminui os custos de combustível em 53% e origina uma poupança anual de 18.499€ por viatura. Esta medida tem um tempo de retorno do investimento de 2 anos.

A pandemia de COVID-19 levou ao decréscimo de 162.047 litros no consumo de combustível e teve um impacto económico negativo de 235.616€, quando comparado o primeiro semestre de 2019 com o de 2020.

Palavres chave: caraterização energética; impacto energético; impacto económico; eco-condução; veículos elétricos; veículos a pilha de combustível.

Abstract

The objective of this dissertation is to quantify the energetic and economic impact of the application of energy efficiency measures in the automobile fleet of the company *Transportes Gama* to reduce its' energy consumption. It was carried out the energetic characterization of the fleet regarding the data of February 2020. Variables that influence the energy consumption were correlated to the drivers' years of experience and age. Three measures to reduce energy consumption were also analysed as well as the energetic and economic impact of the COVID-19 pandemic.

The first measure consists in renewing the fleet with Euro 6 vehicles, replacing 104 less efficient vehicles with ones that consume less fuel. This allows an 11% reduction in energy consumption and its' payback time is 15 years. The second measure consists in studying drivers' training and the potential of eco-driving and its' impact. This measure allows a reduction in energy consumption of 6.5% and its' payback time is 1 month. The third measure studies the economic impact of the introduction of vehicles with alternative fuel sources in the company (electric and fuel cell vehicles). The introduction of electric vehicles leads to 53% of fuel cost savings and to annual savings of € 18,499 per vehicle. The payback time of this measure is 2 years.

The COVID-19 pandemic led to a decrease in fuel consumption of 162,047 litres and had a negative economic impact of € 235,616 between the first semester of 2019 and the first semester of 2020.

Key words: energetic characterization; energetic impact; economic impact; eco-driving; electric vehicles; fuel cell vehicles.

Índice

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Organização da dissertação	3
2. ESTADO DE ARTE	4
3. METODOLOGIA DE AQUISIÇÃO E ANÁLISE DE DADOS.....	17
3.1. Caso de estudo.....	17
3.2. Caracterização da frota automóvel	17
3.3. Caracterização dos condutores da empresa.....	22
3.4. Definição de medidas de eficiência energética.....	24
3.4.1. Renovação da frota.....	25
3.4.2. Potencial de eco-condução	27
3.4.3. Adoção de tecnologias de veículos alternativas.....	29
3.5. Impacte da pandemia de COVID-19.....	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1. Parâmetros que influenciam o desempenho do veículo	37
4.2. Análise de cada modelo por idades dos condutores	39
4.4. Potencial de renovação da frota	45
4.5. Potencial de eco-condução	46
4.6. Resultados da formação	47
4.7. Adoção de tecnologias de veículos alternativas.....	48
4.8. Impacto da pandemia de COVID-19.....	54
5. CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO.....	56
6. BIBLIOGRAFIA.....	58

Lista de tabelas

Tabela 1 - Excerto dos dados de caracterização da frota.....	18
Tabela 2 - Excerto dos dados de caracterização da frota (continuação da Tabela 1).	18
Tabela 3 - Caracterização da amostra considerada.	18
Tabela 4 - Caracterização da amostra considerada (continuação da Tabela 3).	19
Tabela 5 - Dados de 10% das viaturas mais eficientes da empresa.	26
Tabela 6 - Excerto da tabela dos dados recolhidos de 10% dos condutores mais eficientes.	28
Tabela 7 - Especificações dos veículos simulados no FASTSim.	31
Tabela 8 - Dados utilizados na análise TCO.....	34
Tabela 9 - Excerto dos dados recolhidos referentes à situação de pré-pandemia em 2019.....	35
Tabela 10 - Excerto dos dados recolhidos referentes à situação de pandemia em 2020.	36
Tabela 11 - Dados da situação inicial da frota.	45
Tabela 12 - Dados do potencial de renovação da frota.	45
Tabela 13 - Dados mensais do potencial de eco-condução.	46
Tabela 14 - Dados relativos a uma situação pré-formação.	47
Tabela 15 - Dados relativos a uma situação pós-formação.....	47
Tabela 16 - Dados de melhoria contínua (situação em que o condutor entrou na empresa).....	47
Tabela 17 - Dados de melhoria contínua (após 1 mês do condutor ter entrado na empresa).	48
Tabela 18 - Resultados do FASTSim.....	48
Tabela 19 - Dados dos custos anuais da análise TCO.....	53
Tabela 20 - Diferença de consumo total e de quilometragem entre o 1º semestre de 2019 e o de 2020.	54
Tabela 21 - Diferença de custos de combustível entre o 1º semestre de 2019 e o de 2020.	55

Lista de figuras

Figura 1 - Energia final consumida por setor na UE em 2017.	1
Figura 2 – Potencial de poupança de consumo de combustível segundo os diferentes tipos de veículos pesados.	4
Figura 3 - Comparação de uma viatura sem e com defletor aerodinâmico	5
Figura 4 - Espaço entre cabine e semirreboque vedado.	6
Figura 5 - Asa na traseira de um semirreboque.	6
Figura 6 - Flap na base da viatura.	6
Figura 7 - Possíveis configurações da saia lateral do semirreboque.	7
Figura 8 - Tipos de configuração de veículos híbridos.	10
Figura 9 - Consumo médio ano longo dos anos por tipologia de veículo.	14
Figura 10 - Consumo médio (l/100 km) de viaturas de norma EURO 0 até EURO VI.	14
Figura 11 - Projeção dos custos (USD/100 km) de um veículo pesado a pilha de combustível ao longo dos anos.	16
Figura 12 - Consumo total por modelo de viatura.	19
Figura 13 - Quilometragem mensal percorrida (km) por modelo de viatura da amostra (dados de todos os veículos dessa classe).	20
Figura 14 - Consumo médio por 100 km percorridos (l/100 km) por modelo de viatura da amostra. ..	21
Figura 15 - Custo (€) por distância percorrida (km) da cada modelo da amostra.	21
Figura 16 - Custo de combustível (€) por veículo médio de cada modelo da amostra.	22
Figura 17 - Percentagem de condutores em função dos anos de experiência.	23
Figura 18 - Percentagem de condutores em função da idade.	24
Figura 19 - GPS utilizado: Garmin GPSMap 76CSx.	30
Figura 20 - Evolução mensal do preço de gasóleo ao longo dos anos.	32
Figura 21 - Consumo médio por velocidade média de cada modelo da amostra.	37
Figura 22 - Consumo médio por quilometragem mensal de cada modelo da amostra.	38
Figura 23 - Consumo médio por idade média de cada modelo da amostra.	38
Figura 24 - Velocidade média por idade média de cada modelo da amostra.	39
Figura 25 - Consumo médio por intervalos de idade dos condutores de cada classe de veículos.	40
Figura 26 - Velocidade média por intervalos de idade dos condutores de cada classe de veículos.	41
Figura 27 - Distância percorrida por intervalos de idade dos condutores de cada classe de veículos.	42
Figura 28 - Consumo médio por intervalos de experiência dos condutores de cada classe de veículos.	43
Figura 29 - Velocidade média por intervalos de experiência dos condutores de cada classe de veículos.	44
Figura 30 - Distância percorrida por intervalos de experiência dos condutores de cada classe de veículos.	44
Figura 31 – Resultado obtido pelo FASTSim na simulação do veículo a pilha de combustível.	49
Figura 32 - Localização dos postos de carregamento rápidos em Portugal continental.	50
Figura 33 - Localização dos postos de carregamento rápido na zona metropolitana de Lisboa.	51
Figura 34 – Análise Total Cost of Ownership.	52

Lista de abreviaturas

UE – União Europeia

TCO – *Total Cost of Ownership*

CO₂ – Dióxido de carbono

C_D - Coeficiente de resistência aerodinâmica

US – *United States*

APU – *Auxiliary Power Units*

GPS – *Global Positioning System*

PHEV – *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*

USD – *United States Dollar*

FCEV – *Fuel cell electric vehicle*

BEV – *Battery electric vehicle*

ICEV – *Internal combustion engine vehicle*

SOC – *State of charge*

GNL – Gás natural liquefeito

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Atualmente, existem várias preocupações ambientais relativas ao impacto dos combustíveis fósseis e ao consumo de energia. Assim, têm sido tomadas diversas medidas com o intuito de reduzir a emissão de poluentes e a utilização de combustíveis fósseis [1], tendo esta vindo a diminuir [2] e aumentando a utilização de energias renováveis [1].

Dados referentes a 2019 indicam que os veículos pesados consumiram 12,5% do petróleo mundial e que mais de 90% destes veículos é movido a gasóleo [1]. Em 2017, o setor dos transportes consumiu 30,8% de energia na Europa [2], sendo assim o maior consumidor dos setores de energia, como é possível observar na Figura 1:

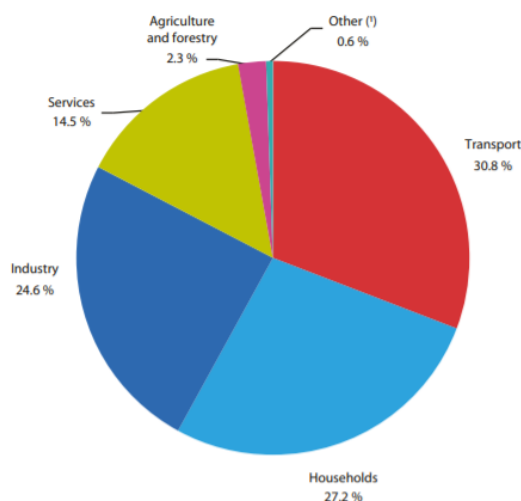


Figura 1 - Energia final consumida por setor na UE em 2017 (Fonte [2]).

É ainda importante salientar que, dentro do setor dos transportes, existe um maior consumo de energia por parte do transporte aéreo e, em segundo lugar, pelo transporte rodoviário [2].

Em Portugal, o transporte rodoviário corresponde a 85,9% do transporte de bens e mercadorias [2], sendo um dos setores indispensáveis para a economia do país. Percebe-se assim a importância de agir sobre este setor e tentar diminuir o impacto energético do mesmo, diminuindo os custos associados a combustíveis fósseis. Existe a oportunidade de melhorar o consumo de energia por parte do setor rodoviário e, face às preocupações ambientais, utilizar energias renováveis nos transportes para diminuir a emissão de gases poluentes, que nos veículos pesados representa 22% das emissões de CO₂ no setor dos transportes [1].

Em 2017, 7,6% da energia consumida pelo setor dos transportes na Europa foi energia renovável, estando Portugal acima da média com a utilização de 7,9% de energia renovável no setor dos transportes [2].

Visto que é urgente a redução do impacte energético, bem como a diminuição de emissão de gases poluentes no sector dos transportes de mercadorias, é necessário estudar medidas de redução dos mesmos. Uma das medidas que reduz o impacte energético de uma frota é a renovação da mesma, uma vez que veículos mais recentes tendem a ter menor impacte energético que veículos mais antigos, bem como menor emissão de gases poluentes [3].

Uma vez que o setor dos transportes é responsável por grande parte da energia consumida, tem existido um desenvolvimento de tecnologia de modo a tornar veículos mais eficientes e com menor impacte ambiental. Novas estratégias têm vindo a ser aplicadas na propulsão do veículo, como veículos movidos a gás natural liquefeito (GNL), veículos híbridos, sistemas de propulsão elétrica e sistemas de pilhas de combustível. Existe também a preocupação em fazer com que os motores a combustão se tornem mais eficientes, de modo a que a libertação de poluentes locais seja reduzida e tenha menor impacte ambiental. Todas as tecnologias anteriormente referidas têm o objetivo de reduzir o impacte energético e ambiental dos veículos.

Como o setor dos transportes consome bastante combustível, e existe a preocupação em baixar este consumo, têm surgido novas estratégias de modo a fazer com que isto seja possível. Uma das estratégias é a eco-condução que tem como objetivo diminuir o consumo de combustível e a emissão de poluentes. É estimado que a redução de combustível pode ir até aos 18% quando adotada uma estratégia de eco-condução [4] e a redução em emissão de gases efeito de estufa esteja compreendida entre 5% a 15% [5].

As estratégias de eco-condução têm a vantagem de não ser necessário investir dinheiro em novas viaturas, podendo utilizar-se as que já existem. Adotar estratégias de eco-condução implica apenas alguns custos para a empresa em *software* de gestão de tráfego e em pessoal qualificado para dar formação. Assim, esta medida deve ser considerada pelas empresas de transportes aquando da escolha de estratégias de eficiência energética.

Com o intuito de estudar a diminuição do impacte energético e económico da empresa *Transportes Gama*, foi realizado um estágio na empresa no âmbito do projeto Galp21. Este projeto resulta da parceria da empresa Galp Energia com o Instituto Superior Técnico. O estágio serviu de base para o processo de recolha e análise de todos os dados que suportam a presente dissertação.

1.2. Objetivos

O objetivo da presente dissertação consistiu em avaliar o impacte energético e económico da aplicação de medidas de eficiência energética na frota de transporte de mercadorias da empresa *Transportes Gama*. A dissertação foi desenvolvida no âmbito do Programa Galp 21 e os dados utilizados nesta dissertação foram recolhidos diretamente na empresa.

De modo a alcançar o objetivo principal mencionado, foram delineados os seguintes objetivos ao longo da realização da dissertação:

- Análise e recolha de dados respeitantes ao consumo real dos veículos da empresa *Transportes Gama* através da utilização de *software* próprio para o efeito (*Frotcom* e programas próprios das marcas dos veículos da empresa) e do controlo do posto de abastecimento da empresa;
- Desenvolvimento de uma metodologia que permita a caracterização das viaturas e a análise dos dados recolhidos;
- Definição de cenários de melhoria de eficiência energética;
- Quantificação da poupança energética da implementação das medidas definidas;

- Quantificação dos custos associados à implementação das medidas, nomeadamente através da análise de *Total Cost Of Ownership* (TCO) das novas tecnologias e dos veículos atuais da empresa.

1.3. Organização da dissertação

A dissertação encontra-se organizada em 5 capítulos.

No primeiro capítulo é feita uma introdução ao tema, bem como o enquadramento do mesmo, salientando a sua importância no contexto atual. É também indicado o objetivo da dissertação.

No capítulo 2 é apresentado o estado de arte relativamente às tecnologias atuais, bem como ao conhecimento e resultados obtidos em estudos que se enquadram na temática. Abordam-se estratégias utilizadas para reduzir o consumo energético em veículos pesados de mercadorias, bem como a redução de emissões.

No capítulo 3 é apresentada a metodologia utilizada no caso de estudo e é descrito o procedimento desenvolvido para a recolha dos dados que serviram de suporte à presente dissertação, bem como o processamento dos mesmos.

No capítulo 4 são discutidos e apresentados os resultados da caracterização das viaturas e dos condutores, bem como são apresentados e discutidos os resultados económicos e energéticos das análises feitas a novas tecnologias.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões da dissertação do potencial de redução de consumos através da renovação da frota, da implementação de estratégias de eco-condução e da possibilidade da aquisição de viaturas elétricas e a pilha de combustível. São também apresentadas e discutidas algumas ideias de trabalho futuro a desempenhar no estudo do impacto energético e económico da frota da empresa *Transportes Gama*.

2. Estado de Arte

As diversas preocupações ambientais têm vindo a aumentar [6] e novas políticas têm sido aprovadas com o objetivo de reduzir a emissão de gases com efeito de estufa e a utilização de energias renováveis [7]. Os combustíveis fósseis são responsáveis pelo problema ambiental citado anteriormente. Como tal, novas estratégias podem ser usadas para combater as alterações climáticas e o uso de combustíveis fósseis. Relativamente ao setor rodoviário, inclui a utilização de novas tecnologias com base em energias renováveis, como veículos com propulsão elétrica, veículos híbridos ou veículos a pilha de combustível e medidas que sejam eficientes e reduzam o consumo de combustível e a emissão de gases de efeito de estufa. Outras medidas também se podem utilizar como estratégias de eco-condução, planeamento e otimização de rotas e manutenção de veículos [5].

As tecnologias que podem ser utilizadas para reduzir o consumo de combustível em veículos pesados depende do tipo de veículo e da tecnologia que pode ser utilizada para cada veículo [8].

Existem vários aspetos que podem ser melhorados nos veículos, como se pode constatar na Figura 2.

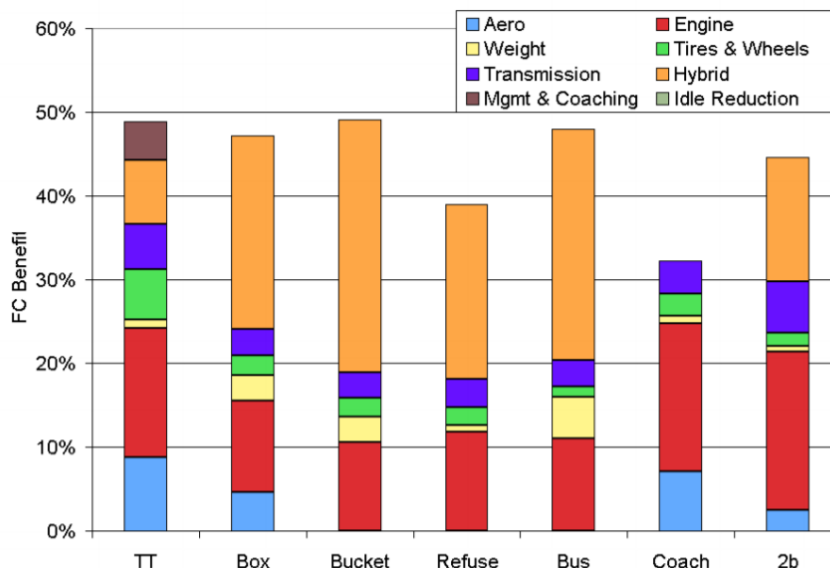


Figura 2 – Potencial de poupança de consumo de combustível segundo os diferentes tipos de veículos pesados (Fonte [9]).

Para o veículo TT (*truck trailer*), que é o caso analisado nesta dissertação (veículos pesados de mercadoria), é possível observar que existe um grande consumo de combustível associado ao motor da viatura, à parte aerodinâmica e também à utilização de tecnologias híbridas nos transportes. É ainda importante salientar que existe uma porção da Figura 2 (a castanho) que representa a melhoria na poupança de combustível através da melhoria da gestão de frotas e formação dos condutores.

Adoção de medidas de eficiência energética

Existem diversas abordagens para melhorar o consumo de combustível de uma viatura pesada de mercadorias, como a utilização de veículos convencionais mais eficientes (consiste na melhoria dos componentes mecânicos do veículo), a adoção de estratégias de eco-condução e a adoção de tecnologia de veículos híbridos, veículos elétricos e veículos a pilha de combustível.

Relativamente às tecnologias convencionais mais eficientes, estas requerem uma melhoria na eficiência dos motores, dos sistemas de transmissão, na melhoria do design da viatura de modo a torná-la aerodinamicamente mais eficiente, melhoria na resistência dos pneus e utilização de materiais mais leves na cabine e no semirreboque [10].

A tecnologia de veículos híbridos aumenta a eficiência dos motores quando as viaturas se deslocam a baixas velocidades e recupera a energia utilizada na travagem da viatura para propulsionar a inicialização e o arranque do motor de combustão. Isto é feito através do uso da energia armazenada numa bateria, que é gerada pela travagem. Quando utilizado um veículo híbrido de transporte de mercadorias, existe uma redução de consumo de combustível de 20% a 22%, consoante o percurso efetuado [10].

Relativamente às melhorias de desempenho dos veículos, é possível adotar diversas **medidas de eficiência energética**:

1. Aerodinâmica

Para se analisar e comparar perdas aerodinâmicas, é utilizado o coeficiente de resistência aerodinâmica (C_D). A resistência aerodinâmica (*drag*) é responsável por 53% da potência consumida por uma viatura de transporte de mercadorias (de classe CE), quando esta se desloca a uma velocidade 104,6 km/h (65 milhas por hora [mph]) [10].

Os modelos dos camiões são desenhados com base na maior redução possível de coeficiente de resistência, uma vez que uma redução de 20% no coeficiente de resistência aerodinâmica corresponde a uma redução de 10% no consumo de combustível de um veículo que se desloca a 104,6 km/h (65 mph). Atualmente, é possível uma redução de combustível de 15% (considerando que a viatura se desloca a 104,6 km/h (65 mph)) devido às alterações nos modelos dos camiões, de forma a torná-los mais aerodinâmicos [8].

Com o intuito de tornar o veículo mais aerodinâmico, são utilizados apêndices aerodinâmicos (desde a cabine até ao semirreboque) e saias laterais no reboque, de modo a tornar o veículo mais eficiente. É possível uma redução de resistência aerodinâmica de 13% colocando um defletor aerodinâmico no reboque [11], como se demonstra na Figura 3.



Figura 3 - Comparação de uma viatura sem e com defletor aerodinâmico (Fonte [11]).

Colocar um apêndice que vede completamente a folga entre a cabine e o semirreboque leva a uma redução do coeficiente de resistência aerodinâmica de 7% quando o veículo se desloca a uma velocidade de 88,5 km/h (55 mph) [12]. A Figura 4 demonstra as alterações necessárias para esta redução.



Figura 4 - Espaço entre cabine e semirreboque vedado (Fonte [12]).

Relativamente ao semirreboque, o coeficiente de resistência aerodinâmica pode sofrer uma redução de 10,3% quando utilizado um apêndice aerodinâmico na parte traseira do mesmo, quando se desloca a uma velocidade de 88,5 km/h (55 mph) [12]. É possível observar-se um exemplo de um apêndice aerodinâmico traseiro na Figura 5.

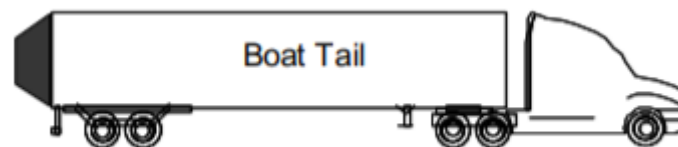


Figura 5 - Asa na traseira de um semirreboque (Fonte [12]).

No entanto, uma vez que existem limitações relativamente aos comprimentos das viaturas pesadas, nem sempre a utilização de um apêndice aerodinâmico na parte traseira do semirreboque é a opção mais atrativa. Existem também dificuldades acrescidas no manuseamento da viatura, o que pode levar a problemas de segurança rodoviária.

Outra opção é a utilização de *flaps* na base da viatura. Os *flaps* têm a vantagem de não aumentarem o comprimento da viatura e de ser mais fácil para o condutor manusear a mesma. Num estudo, foi considerado que os *flaps* tinham melhor desempenho que os apêndices aerodinâmicos colocados na base de uma viatura [13]. A Figura 6 mostra a utilização de um *flap* numa viatura.



Figura 6 - *Flap* na base da viatura (Fonte [14]).

As viaturas que utilizam *flaps* podem ter uma redução de 5,4% do coeficiente aerodinâmico, quando comparadas com viaturas que utilizam saias laterais sem *flaps* [14].

Finalmente, é ainda possível existir redução do coeficiente de resistência aerodinâmica quando se inserem saias laterais no semirreboque. Foram estudadas algumas saias laterais de modo a perceber

qual a melhor configuração para a redução do coeficiente de resistência aerodinâmica [12]. A Figura 7 mostra as diferentes configurações possíveis.

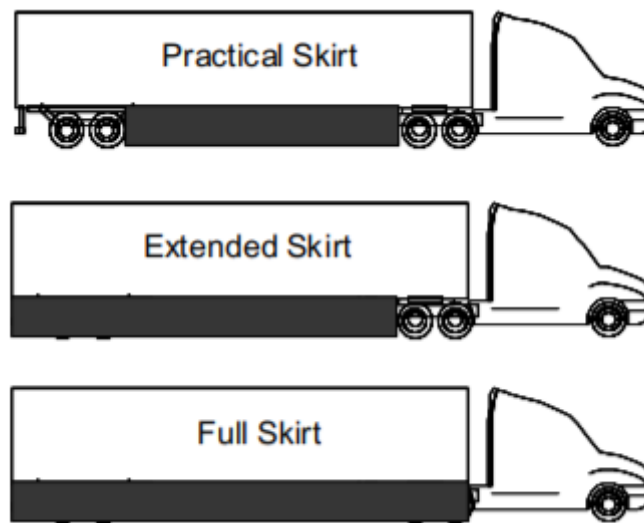


Figura 7 - Possíveis configurações da saia lateral do semirreboque (Fonte [12]).

Considerando as três configurações representadas, a última (*Full Skirt*), é a que apresenta a maior redução de coeficiente aerodinâmico. Esta configuração representa uma redução de 18,2% a 19,9% (analisadas quando o veículo se desloca a velocidades de 65 mph e 55 mph, respectivamente), quando comparada com um veículo sem saia lateral. A primeira configuração (*Practical Skirt*) apresenta uma redução de 14,2% a 15,7% e a segunda configuração (*Extended Skirt*) uma redução de 16,1% a 17,5% às velocidades de 65 mph e 55 mph, respectivamente [12].

Foi ainda estudada a situação final com o recurso a saias laterais (*Full Skirt*), asa na traseira do semirreboque e espaço entre cabine e semirreboque vedado. Os resultados mostram uma diminuição de coeficiente de resistência aerodinâmica de 31,3% a 33,4% quando o veículo se desloca a 65 mph e 55 mph, respectivamente [12].

Outra medida que diminui a resistência aerodinâmica é a diminuição de espaços entre os veículos que circulam na mesma estrada. No entanto, é necessário ter atenção à distância de segurança para não ocorrerem acidentes rodoviários.

Assim, é possível concluir que a aerodinâmica do veículo é fundamental para a diminuição do consumo de combustível de uma viatura de transporte de mercadorias, podendo esta diminuição ser de 10% a 18% [15].

2. Resistência ao rolamento

A resistência ao rolamento pode ser reduzida utilizando pneus com baixa resistência ao rolamento. Como tal, é utilizado apenas um pneu mais largo, invés de pneus duplos convencionais. A monitorização da pressão dos pneus e a utilização correta da inflação dos mesmos são medidas que também contribuem para a diminuição do consumo de combustível. Quando o coeficiente de resistência ao rolamento é menor, é possível haver uma diminuição de 9% do consumo de combustível [10].

É importante salientar que a percentagem de energia que é dissipada depende do peso da viatura e do fator de carga. Assim, quanto maior o peso da viatura, maior serão as perdas relacionadas com a resistência ao rolamento.

Com a alteração da configuração dos pneus, é possível suportar as mesmas cargas aplicadas e é ainda possível reduzir a massa do veículo utilizando apenas um pneu mais largo, quando comparado com a situação de pneus duplos [8]. Ao reduzir-se a massa do veículo, aumenta-se a eficiência, uma vez que a resistência ao rolamento é menor. Uma redução de resistência ao rolamento de 35% leva a uma redução de consumo de combustível de 7% a 9% [15].

3. Massa do veículo (peso)

A massa da viatura afeta o consumo de combustível maioritariamente devido à resistência ao rolamento dos pneus (como anteriormente referido) e à energia dissipada nas travagens e esforço nas subidas [8].

É possível reduzir o peso da viatura recorrendo a materiais leves como materiais compósitos e alumínio, em vez de outros metais utilizados, aumentando a eficiência da viatura e tornando possível que a viatura transporte maior quantidade de mercadorias [15]. A redução do peso do veículo irá originar uma menor resistência ao rolamento por parte dos pneus e menor esforço durante as acelerações [10].

Uma redução de peso de 3%, para uma viatura totalmente carregada, é facilmente exequível e leva a melhorias de consumo de combustível de 1,2% a 1,6% para uma viatura que se desloca em autoestradas e em estradas urbanas, respetivamente [10].

4. Tempo ao *ralenti*

O *ralenti* é um problema das viaturas de transportes de mercadorias, especialmente as de longo curso, pois aumenta o consumo de combustível e as emissões de gases poluentes. O tempo ao *ralenti* pode variar entre 20% a 40% do tempo total em que o motor está ligado [16].

No entanto, o tempo ao *ralenti* é difícil de ser reduzido, visto que depende do estilo de vida de cada condutor. Os condutores utilizam o motor em *ralenti* para poderem utilizar equipamentos como micro-ondas, ar condicionado, aquecedores, pequenos frigoríficos e até televisões, uma vez que, especialmente em longo curso, passam várias horas ou até mesmo dias na cabine. O *ralenti* é ainda utilizado como uma maneira de reduzir problemas ao iniciar o motor, especialmente nos meses mais frios.

Um veículo pesado em *ralenti* consome, em média, 3 litros [8] a 3,2 litros [17] de combustível por hora (0,8-0,85 US *gallon* por hora) e está neste estado durante 1800 horas por ano [8]. Além disso, o *ralenti* acelera o desgaste do motor e o consumo de óleo do mesmo, o que faz com que a manutenção e custos de reparação da viatura sejam maiores. Num ano, os motores em *ralenti* fazem o equivalente a 322.000 km extra [18].

De maneira a que os condutores possam ter os acessórios ligados e o motor não estar em *ralenti*, é possível adquirir as APUs (*Auxiliary power units*). As APUs geram e armazenam energia elétrica e calor que é utilizada nos acessórios e equipamentos secundários dos condutores quando a viatura tem o motor desligado e reduzem as emissões de gases poluentes de 6% a 29% [19]. Também aumentam a segurança do condutor, através da diminuição do nível de ruído e de melhorias nas condições de sono, diminuindo o cansaço do condutor.

Outra opção é utilizar um sistema “*Start/Stop*” que desliga o motor quando o carro está parado (num semáforo, por exemplo) e volta a ligar assim que o condutor necessita de acelerar. Esta opção

não só reduz as emissões de gases poluentes, como reduz o consumo de combustível em cerca de 3% [8].

5. Cruise control

Outra opção para reduzir o consumo de combustível é através da utilização de *cruise control*. O *cruise control* é um sistema que mantém a velocidade desejada da viatura constante, enquanto o veículo aplica sozinho a potência necessária para esse efeito.

Existem diversos tipos de *cruise control*. O *cruise control* adaptativo utiliza, em conjunto, o *cruise control* tradicional e um radar (ou um sensor a laser) inserido na parte dianteira do veículo que faz a leitura em tempo real do tráfego. Quando o sensor deteta um veículo que circula com velocidade inferior à frente da viatura, reduz a velocidade e ajusta-a em relação a esse.

Este sistema não só aumenta a segurança da viatura, devido à redução de velocidade em função dos outros veículos, como também reduz o consumo de combustível devido à menor utilização do acelerador.

Outro sistema de *cruise control* é o sistema preditivo. O *cruise control* preditivo utiliza um sistema de mapeamento do terreno e localização por sistema GPS para controlar a ação do motor, sabendo quando o veículo se aproxima de terrenos com declives acentuados. É especialmente benéfico em terrenos com variações de elevação.

Quando uma viatura se desloca numa subida íngreme, o sistema de *cruise control* preditivo manipula a velocidade e a potência do motor de acordo com o terreno. É ainda possível observar que quanto maior a massa da viatura, maior a poupança de combustível quando utilizado o sistema de *cruise control* preditivo [20], uma vez que se reduz a aceleração desnecessária nas subidas. Viaturas que utilizam este sistema de *cruise control* podem ter reduções de combustível em 4,76% [21].

Outros sistemas mais avançados de *cruise control* têm ainda a possibilidade de obter informação do trânsito em tempo real e funções de “*Start/Stop*” baseadas na receção de sinais dos semáforos, aumentando ou diminuindo a velocidade de acordo com a cor da luz do semáforo. Estes métodos também reduzem o consumo de combustível e emissões de gases de efeito de estufa e ainda ajudam no descongestionamento do trânsito [22].

6. Planeamento da rota

O planeamento de rota é outro fator que pode influenciar o consumo de combustível e as emissões de gases poluentes. O planeamento é feito pelos chefes de tráfego utilizando *softwares* de otimização e é transmitido aos veículos.

É possível fazer o planeamento da rota de acordo com o menor consumo de combustível, menor distância entre pontos ou maior velocidade da viatura. Para veículos pesados de mercadorias, pode existir 1% de redução de combustível utilizando um melhor planeamento de rota [23] e 5% a 10% de redução de combustível para veículos ligeiros [24]. O planeamento de rota vem ainda associado a uma redução de custos e a uma menor emissão de gases poluentes [25].

7. Hibridização de veículos

Os veículos híbridos já existem no mercado há vários anos e, atualmente, já é possível observar vários veículos ligeiros híbridos nas estradas portuguesas. Os veículos híbridos caracterizam-se por utilizar dois tipos de energia para se deslocarem, possuindo um motor de combustão e um motor

elétrico. Um veículo híbrido consegue, com o recurso a esta tecnologia, converter energia cinética em energia elétrica (que fica armazenada numa bateria) quando o veículo se movimenta, poupando combustível e melhorando o consumo do veículo. Os veículos híbridos reduzem ainda a emissão de gases poluentes e têm maior eficiência energética, devido à conversão de energia mencionada.

Com o desenvolvimento das baterias e a diminuição dos custos das mesmas, já existem veículos pesados que sofreram o processo de hibridização, no entanto, a implementação desta tecnologia continua a ser um desafio para este tipo de veículos uma vez que a implica uma integração complexa dos sistemas de propulsão elétricos e mecânicos [26].

Nos veículos ligeiros a hibridização de um veículo pode economizar mais de 30% de combustível quando um veículo se desloca numa autoestrada e mais de 50% de combustível quando um veículo se desloca em cidade [27]. A hibridização de veículos de transporte de passageiros pode reduzir o consumo de combustível de 25% a 50% com a hibridização dos veículos [28].

Os veículos pesados, uma vez que têm elevada massa, têm capacidade de armazenar uma grande quantidade de energia cinética [29]. Existem diferentes tipos de configuração de veículos híbridos: híbrido-série, híbrido-paralelo e híbrido misto. As três diferentes configurações aparecem esquematizadas na Figura 8.

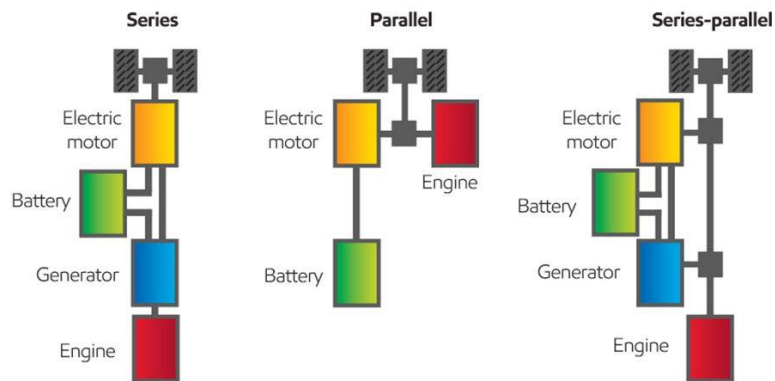


Figura 8 - Tipos de configuração de veículos híbridos (Fonte [30]).

Ainda que existam dificuldades na implementação da hibridização de veículos pesados, é notória a melhoria no consumo do veículo. Com a implementação da hibridização do veículo, o consumo dos veículos pesados pode melhorar de 3,2% a 8,21%, de acordo com o tipo de configuração do veículo híbrido. Em termos económicos, adotar pela hibridização dos veículos tem um tempo de retorno de investimento de 3 a 6 anos, variando consoante o tipo de configuração do veículo híbrido [31].

No entanto, a hibridização do veículo tem um potencial de poupança de consumo de combustível de 12,03% a 14,09% quando o veículo é otimizado para a poupança de combustível para um determinado ciclo de velocidades [32]. É importante salientar que um veículo pesado, quando sofre uma hibridização do tipo PHEV (*plug-in hybrid vehicle*), pode ter uma redução do seu consumo de combustível em 40% [33]. Esta tecnologia tem a capacidade de utilizar apenas energia elétrica para movimentar o veículo, daí existir uma grande redução do consumo de combustível.

As principais vantagens de adotar a tecnologia de hibridização de veículos são:

- **Travagem regenerativa;** quando o veículo reduz a velocidade é possível converter energia cinética em energia elétrica e armazená-la numa bateria para uso posterior. Sem este mecanismo, a energia da travagem é dissipada sobre a forma de calor [8];

- **Maior eficiência energética;** quando comparados com os veículos de motor a combustão, os veículos que possuem um motor elétrico têm maior eficiência. A travagem regenerativa é um excelente exemplo de como a eficiência energética aumenta para veículos híbridos, visto que existe menor dissipação de energia [8];
- **Melhores características de binário;** estes veículos apresentam maior binário a velocidades mais baixas (menores rotações do motor) [8];
- **Motores mais pequenos;** os veículos híbridos conseguem ter motores mais pequenos a funcionar à mesma carga que veículos de combustão maiores porque conseguem atenuar a carga a que se sujeita o motor de combustão e torna-se possível a utilização de motores de combustão mais pequenos, o que reduz a massa do veículo e o consumo do mesmo [8];
- **Menor emissão de gases poluentes;** a tecnologia de hibridização de veículos pode reduzir a emissão de CO₂ em aproximadamente 20% [34] e
- **Robustez;** para algumas configurações de veículos híbridos (por exemplo, na configuração em paralelo) é possível que o veículo utilize apenas um dos motores, caso o outro falhe [8].

8. Veículos Elétricos

Apesar do aumento da eficiência energética [35], é esperado que as emissões de gases poluentes por parte do sector dos transportes continuem a aumentar entre 56% [36] a 70% [35]. Este aumento de emissões é esperado devido ao aumento do consumo de energia [36]. Assim, é necessária a introdução de tecnologias menos poluentes no setor dos transportes, incluindo no transporte de mercadorias.

Os veículos pesados de mercadorias apresentavam algumas dificuldades em adotar tecnologias de propulsão elétrica, visto que necessitam de muita energia e as baterias apresentavam baixa densidade energética [37]. No entanto, novos desenvolvimentos na tecnologia das baterias [38] fazem com que este problema possa ser ultrapassado e os veículos pesados de mercadorias se tornem viáveis [39]. Com a diminuição do preço das baterias, é esperado que os veículos pesados de mercadorias se tornem economicamente mais atraentes que os veículos a gasóleo [38]. Os veículos elétricos podem ainda possuir pouca autonomia, devido à capacidade das baterias.

Os veículos elétricos caracterizam-se por possuir um motor elétrico em vez de possuir um motor de combustão interna. O motor é alimentado por energia armazenada em baterias que fornecem potência ao motor. A velocidade com que o veículo se desloca depende da frequência da potência fornecida pelo sistema de controlo.

O veículo elétrico apresenta a vantagem de ser mais eficiente na travagem. Aquando da travagem, o veículo elétrico tem capacidade de regenerar energia e utilizá-la para recarregar as baterias. Uma vez que os veículos utilizam energia elétrica, o veículo não emite gás de escape e não necessita de óleo no motor, o que diminui a manutenção do veículo.

Quando comparado com um veículo a gasóleo, um veículo elétrico pesado de mercadorias consome três vezes menos energia [40] e tem custos de combustível 63% menores que um veículo convencional a gasóleo [41]. Relativamente às emissões de gases poluentes, um veículo elétrico pode diminuir as suas emissões até 70%, melhorando significativamente a qualidade do ar [41]. Tudo isto faz com que os veículos elétricos sejam uma alternativa muito promissora para o setor dos transportes.

Uma vez que os veículos elétricos pesados de mercadorias ainda não são vendidos em massa, os custos podem ser elevados. No entanto, assim que os preços dos veículos e das baterias desçam, os veículos elétricos conseguem ser mais atraentes que qualquer outro tipo de veículo convencional.

Os custos de combustível de um veículo elétrico dependem do custo da eletricidade. Atualmente, existem vários postos de carregamento rápido em Portugal [42], o que facilita a aquisição de um veículo elétrico. É possível adquirir uma estação de carregamento para carregar os veículos da frota, mas tem custos mais elevados que o carregamento normal.

9. Veículos a pilha de combustível

Os veículos a pilha de combustível são movidos a hidrogénio e não produzem emissões de gases poluentes pelo tubo de escape. Estes veículos utilizam um sistema de propulsão semelhante ao dos veículos elétricos, onde a energia armazenada é convertida em eletricidade pela pilha de combustível. O hidrogénio encontra-se armazenado num tanque dentro do veículo. Os gases que saem do tubo de escape de um veículo a pilha de combustível são vapor de água e ar quente. Esta tecnologia é a tecnologia mais recente na indústria automóvel.

Tal como os veículos com motor de combustão interna, os veículos a pilha de combustível apresentam a vantagem de abastecer o depósito rapidamente (uma questão de minutos: 5-10 minutos) e têm uma autonomia muito superior aos veículos elétricos. Os veículos a pilha de combustível também têm travagem regenerativa, ou seja, quando se trava o veículo, a energia dissipada é armazenada numa bateria.

O hidrogénio apresenta diversas vantagens em termos de disponibilidade de recursos, desempenho e impacto ambiental [43]. O hidrogénio pode ser extraído da água utilizando diversos métodos e pode também aparecer como produto de várias reações químicas em fábricas. O hidrogénio é também o combustível mais leve e que tem a maior taxa de difusão, o que permite que a reação de combustão dentro do motor de combustão interna seja completa [43].

No entanto, os veículos pesados de mercadorias a pilha de combustível estão ainda numa fase primordial. É necessário não comprometer o seu desempenho, uma vez que os veículos pesados de mercadorias possuem uma capacidade de volume limitada. O tanque de combustível pode também aumentar o peso do veículo e o design do mesmo pode alterar a resistência aerodinâmica [44]. Visto que é uma tecnologia recente, os custos associados à mesma são elevados, o que surge como uma desvantagem [45].

Estudos realizados em veículos pesados de mercadorias a pilha de combustível mostram que esta tecnologia é viável e não compromete o desempenho das viaturas quando comparadas com veículos convencionais com motores de combustão interna, sendo que em muitos casos o desempenho do veículo melhora. Quando utilizados veículos a pilha de combustível, é observada uma diminuição do consumo de combustível entre 18% e 34% [46] e uma redução das emissões de gases de efeito de estufa até 45% [47].

10. Eco-condução

Com o objetivo de diminuir o consumo de combustível e a emissão de poluentes, é possível adotarem-se medidas de eco-condução. Estas medidas baseiam-se na adoção de medidas de intervenção e formação, de modo a melhorar a condução dos formandos e assim reduzir o consumo de energia.

As estratégias de eco-condução são consideradas eficazes na redução de consumo de combustível, podendo poupar até 18% do consumo energético e reduzem os erros de condução em 97% [48]. Esta redução de erros de condução leva a uma condução mais segura e pode levar a menor número de acidentes rodoviários.

A eco-condução é mais eficaz quando os condutores estão mais abertos à formação, e quando é administrada durante um longo período, de modo a que se consigam obter resultados [49]. Estudos demonstram que condutores mais seniores ou condutores que se preocupam com questões ambientais têm mais facilidade em adotar estratégias de eco-condução que os outros condutores [50].

Relativamente ao estudo da administração das sessões de formação, pode-se afirmar que sessões curtas são mais simples e diretas para os condutores, sendo estas as preferenciais. As estratégias de eco-condução devem vir acompanhadas de feedback em tempo real, de modo a maximizar a redução de consumo de combustível [51]. É possível obter este feedback através de interfaces que dão a avaliação constante da eficiência energética do condutor, ou luzes de aviso quando o condutor excede o consumo desejado, ou até avisos sonoros.

Alguns dos benefícios de adotar uma estratégia de eco-condução são:

- **Redução do consumo de combustível;** quando adotada uma estratégia de eco-condução o consumo energético pode diminuir em 18% [4];
- **Redução em custos de combustível;** a redução do consumo de combustível leva à redução dos custos do mesmo. É estimado que possa existir um decréscimo de 10,2% dos custos de combustível [52];
- **Impacte ambiental;** a eco-condução reduz emissões de gases poluentes [53];
- **Redução de acelerações e travagens excessivas e condução menos agressiva;** dá origem a menor consumo energético e emissão de gases poluentes [54];
- **Maior facilidade de manutenção do veículo** [54] e
- **Redução do número de acidentes de estrada;** adotar uma medida de eco-condução pode reduzir até 40% a taxa de acidentes na estrada, 52% dos custos associados a acidente e melhora a segurança rodoviária [55].

11. Potencial de renovação da frota de pesados

Uma medida que pode melhorar os consumos dos veículos da frota, bem como a emissão de gases poluentes é a renovação da frota. A renovação da frota por veículos mais recentes semelhantes aos veículos convencionais pode levar a uma diminuição de emissões de CO₂ em 12% [56]. A renovação da frota com veículos mais recentes pode também levar a menor número de acidentes quando estes vêm equipados com sistemas de alarme de colisões [56].

Quando adotados veículos mais recentes, nomeadamente veículos de norma Euro 6, existe uma redução de consumo de combustível em cerca de 3% [57]. A Figura 9 mostra o consumo médio de combustível por 100 km percorridos (l/100 km) ao longo dos anos para cada tipologia de veículo. É possível constatar que a maioria dos veículos de norma Euro 6 consomem menos combustível que veículos das normas Euro 5. As normas europeias de emissões são regulamentos da União Europeia que estabelecem os limites máximos de emissão de poluentes para veículos em estrada. Em média, o consumo de combustível dos veículos de norma Euro 6 é ligeiramente inferior aos outros veículos.

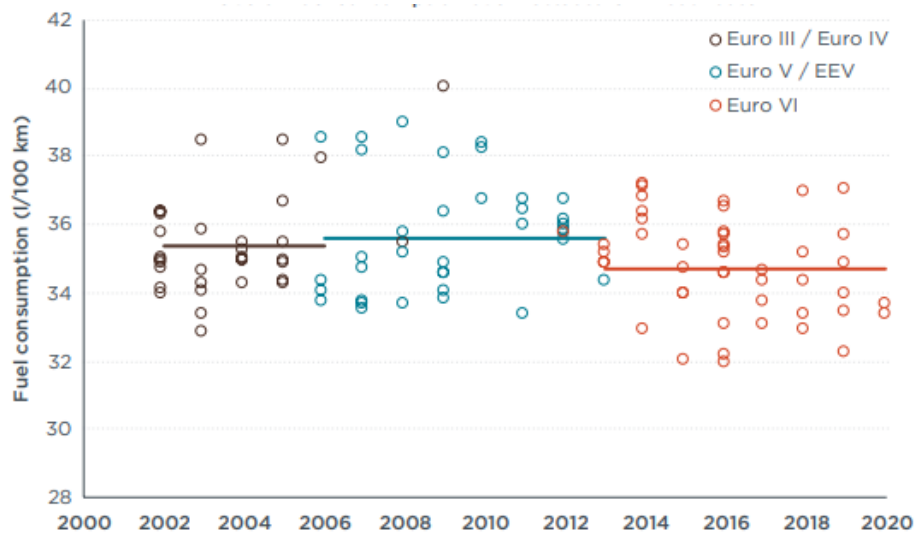


Figura 9 - Consumo médio ano longo dos anos por tipologia de veículo. (Fonte: [57]).

Ao longos dos anos, com a melhoria das tecnologias e dos veículos, houve um decréscimo de consumo de combustível de 27% entre veículos mais antigos de 1995 e veículos recentes de 2010 [58]. Este facto revela a importância de se renovar a frota com veículos mais recentes e eficientes. Para o mesmo período, comparando a emissão de gases de efeito de estufa de veículos de 1995 com veículos de 2010, existiu uma redução das emissões de gases efeito de estufa de 29% [58].

A Figura 10 mostra o consumo médio por 100 km (l/100) percorridos das categorias de veículos das normas Euro 0 a Euro VI [59].

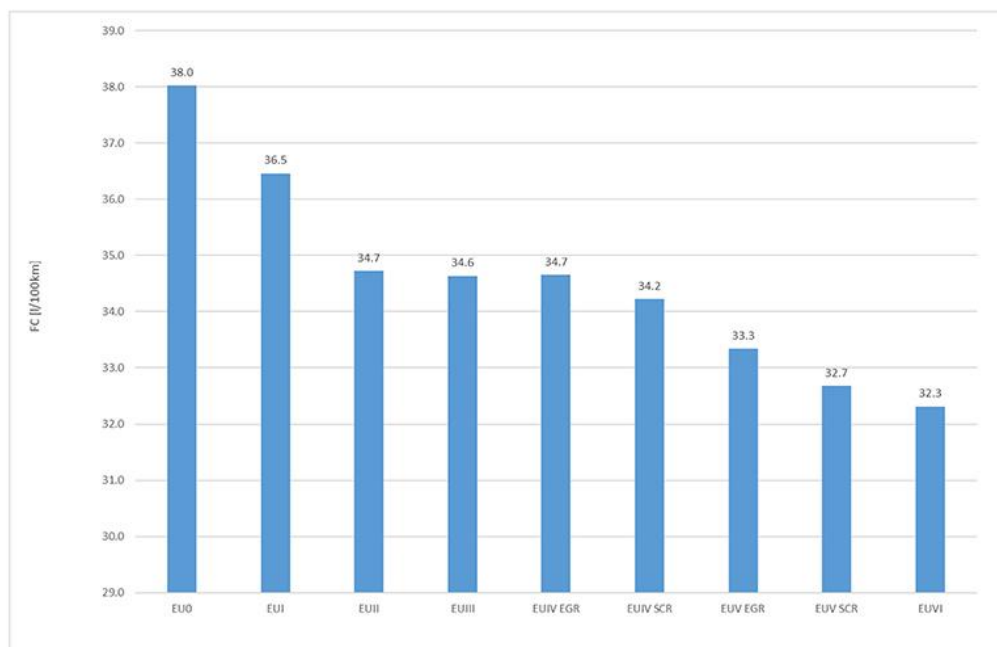


Figura 10 - Consumo médio (l/100 km) de viaturas de norma EURO 0 até EURO VI (Fonte [59]).

É possível observar que existe uma diminuição de consumo médio entre as viaturas das diferentes normas, mesmo entre as viaturas das normas mais recentes. Assim, é possível afirmar que renovar a frota com veículos de norma Euro 6 é uma boa opção para melhorar a emissão de gases poluentes, com o benefício de reduzir o consumo de combustível da frota.

Relativamente às diferentes normas, existem diferenças nos limites aceitáveis de emissões para cada uma. Por exemplo, entre a norma Euro 3 e a norma Euro 6, houve um decréscimo de 84% face ao limite aceitável de óxido de azoto [60]. Relativamente às emissões de partículas em suspensão emitidas por motores Diesel houve um decréscimo de 96% desde a norma Euro 1 até à norma Euro 6 [60]. Atualmente todos os tipos de motor de combustão estão abrangidos pelas normas Euro.

Anteriormente foram estudadas as medidas de eficiência energética que têm impacto no consumo e na emissão de gases poluentes dos veículos. De seguida, é necessário estudar o impacto económico que a adoção de novas tecnologias de veículos tem numa frota automóvel.

Análise TCO de novas tecnologias de veículos

Anteriormente referiu-se os benefícios dos veículos elétricos e a pilha de combustível face aos veículos convencionais a gasóleo. No entanto, por serem relativamente recentes, estes veículos podem ter custos mais elevados que um veículo convencional a gasóleo. Assim, foram estudadas análises *total cost of ownership* (TCO) com o intuito de estudar os custos destes veículos. A análise TCO tem como objetivo estudar o verdadeiro custo de adquirir um determinado veículo. Realizar uma análise TCO de novas tecnologias de veículos é desafiante, uma vez que é necessário estimar alguns valores que ainda não estão disponíveis para os consumidores. Alguns dos custos são conhecidos e são relativamente estáveis ao longo dos anos como o custo de manutenção e reparação dos veículos, os impostos e as taxas. Os valores mais desafiantes são o preço residual dos veículos e o preço do combustível, uma vez que é muito volátil [61].

Um veículo elétrico tem, normalmente, custos de reparação e manutenção mais baixos que um veículo convencional a gasóleo. É também mais eficiente e tem menor consumo de combustível que um veículo de motor a combustão interna [61]. No entanto, os veículos elétricos têm preços de aquisição mais elevados [61]. Daí a importância de se realizar uma análise TCO, visto que o preço de aquisição ser mais elevado não implica que o veículo elétrico seja a opção mais dispendiosa a longo prazo. Os veículos elétricos são também considerados a opção mais eficiente para operações menos longas [62]. Estima-se que estes veículos tenham uma diminuição de preço de aquisição de 38.000€ entre 2020 e 2030 [62].

Os veículos a pilha de combustível têm maior autonomia que os veículos elétricos, o que os torna uma melhor opção para viagens de longa distância. Os veículos elétricos serão melhor para viagens de curta distância (como viagens em tipo de serviço nacional), uma vez que podem ter a necessidade de recarregar as baterias a meio do percurso. Assim, para veículos pesados elétricos que realizem um percurso internacional, estes veículos poderão não ser a alternativa mais interessante.

Estima-se que o preço de aquisição dos veículos a pilha de combustível decresça 90.000€ entre 2020 e 2030 [62]. Estes veículos têm ainda a vantagem de terem recarregamentos muito rápidos e conseguem recarregar totalmente em apenas 15 minutos (considerando uma autonomia de 700 km) [62]. Uma estação de recarregamento de hidrogénio tem um custo elevado, visto que é uma tecnologia muito recente. Estima-se que uma estação com 16 dispensadores de hidrogénio custe 32 milhões de euros por estação, em 2020 [62].

Os veículos a pilha de combustível são a tecnologia de veículo mais recente no mercado. Assim, é de esperar que sejam a tecnologia mais cara neste momento. Estima-se que um veículo a pilha de combustível seja, aproximadamente, 40% mais caro que um veículo elétrico e 90% mais caro que um veículo convencional a gasóleo [63].

No entanto, um estudo realizado a este tipo de veículos mostra a projeção dos mesmos até 2029 e estima que este tipo de veículos tenha os mesmos custos por 100 km percorridos que um veículo

convencional a gásóleo em 2026 e que um veículo elétrico em 2027. A Figura 11 mostra a projeção dos custos por 100 km percorridos (USD/100 km) para um veículo pesado a pilha de combustível ao longo dos anos [63]. As siglas que aparecem na imagem estão em inglês. FCEV (*fuel cell electric vehicle*) significa veículo a pilha de combustível, BEV (*battery electric vehicle*) significa veículo elétrico a bateria e ICEV (*internal combustion engine vehicle*) significa veículo com motor de combustão interna.

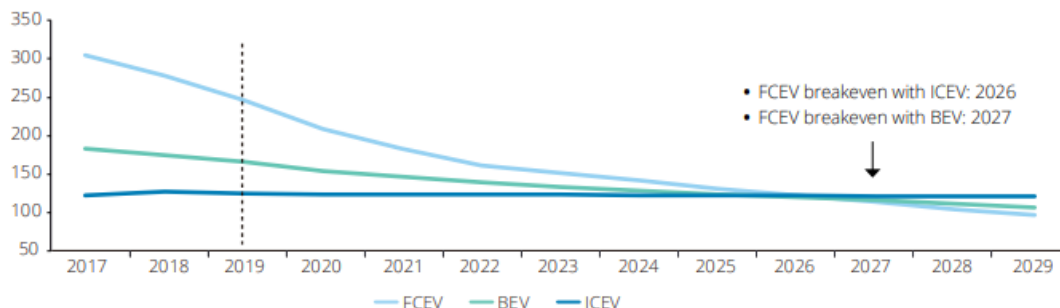


Figura 11 - Projeção dos custos (USD/100 km) de um veículo pesado a pilha de combustível ao longo dos anos (Fonte [63]).

É ainda esperado que, com a adoção destas novas tecnologias, exista uma redução de 30% de emissões de CO₂ e os veículos convencionais com motores de combustão se tornem menos apelativos devido às elevadas taxas e impostos de veículos com elevadas emissões de CO₂ [62].

Os veículos a pilha de combustível estimam ter uma eficiência energética (da energia renovável até à roda) até 30%, os veículos elétricos estimam ter até 77% de eficiência energética e os veículos convencionais a gásóleo têm, no máximo 13% de eficiência energética [63]. Ainda que possam ter custos mais elevados atualmente, são veículos energeticamente mais eficientes, o que constituem uma boa aposta no futuro.

Após o estudo do estado de arte das tecnologias existentes, identificaram-se algumas medidas de interesse a aplicar na frota automóvel da empresa *Transportes Gama*. Face a algumas lacunas de medidas de eficiência energética na frota, bem como à volatilidade das análises económicas de custo de total de propriedade encontradas na literatura, identificou-se a necessidade de fazer o estudo do impacte energético e económico aplicado à frota da empresa *Transportes Gama* relativamente à quantificação dos efeitos da eco-condução, à comparação direta de viaturas, à caracterização do perfil de consumo de viaturas pesadas de mercadorias tendo como base medições efetuadas em ambiente real e à caracterização do perfil de consumo de viaturas pesadas de mercadorias com base em fatores associados aos condutores (nomeadamente à idade e aos anos de experiência dos condutores).

3. Metodologia de aquisição e análise de dados

3.1. Caso de estudo

Para o desenvolvimento da presente dissertação, foi realizado um estágio na empresa *Transportes Gama*, sediada em Lisboa e com bases físicas no Seixal e em Aveiro. Estas bases ajudam em todo o processo de logística e de manutenção da frota. A empresa tem 76 anos de atividade e é especializada no transporte de mercadorias. Realiza transporte de carga geral e transporte de mercadorias perigosas. A empresa tem 186 viaturas que fazem distribuição de mercadoria a nível nacional e internacional. Esta empresa manifesta grande interesse em eficiência energética, tendo atualmente aluguer operacional de duas viaturas movidas a gás natural liquefeito (GNL) e apostado em viaturas com baixo consumo de combustível.

A empresa valoriza e desenvolve, igualmente, uma componente de formação em eco-condução, segurança no trabalho e cidadania para todos os motoristas. Dispõe de um departamento independente apenas vocacionado para a formação desses elementos da empresa. Como tal, os motoristas são acompanhados por um formador em ambiente real de condução, têm aulas de eco-condução e ainda é monitorizado o seu consumo através de plataformas como *Frotcom* e outros *softwares* próprios da marca das viaturas. A formação é dada anualmente a cada condutor da empresa. São ainda atribuídos prémios monetários aos motoristas que apresentam os melhores desempenhos. É atribuído um prémio trimestral aos dois motoristas com o menor consumo médio de combustível de cada trimestre e um prémio anual ao motorista que fez o maior número de quilómetros naquele ano.

A empresa investe também em formação contínua dos outros trabalhadores da empresa de forma a promover a atualização dos seus conhecimentos, bem como a sua formação tanto pessoal como profissional.

Foi caracterizada a frota como ponto de partida de análise de dados. Posteriormente, foram realizadas análises relativamente às viaturas e aos condutores de modo a relacionar os dados e estudar a influência de diversos fatores no consumo das viaturas e a relação entre eles. Para a caracterização da frota foram recolhidos dados relativos ao ano de 2020. Esta análise aborda também a área financeira respeitante à introdução de novas tecnologias e do potencial da empresa relativamente à adoção de estratégias de eco-condução e de otimização de frota. É ainda estudado o impacte económico e energético das viaturas a GNL, utilizando como caso real as duas viaturas movidas com este combustível que a empresa tem aluguer operacional aquando da escrita da presente dissertação.

3.2. Caracterização da frota automóvel

Foram analisados os dados da frota de viaturas pesadas de mercadorias relativos ao mês de fevereiro de 2020 e realizada a caracterização da frota. De modo a caracterizar a frota, foram analisados os seguintes parâmetros:

- Consumo energético por veículo: litros de combustível consumidos, distância percorrida (km), consumo médio em litros de combustível por 100 km percorridos (l/100 km), velocidade média (km/h);
- Tipologia dos veículos da frota: descrição da marca, modelo, idade do veículo (anos), cilindrada do motor (cm³), potência útil máxima (kW), peso em vazio (kg) e tipo de combustível utilizado e

- Cálculo do custo monetário associado (€) a cada veículo.

Os dados apresentados foram retirados com base no controlo do posto de abastecimentos da empresa e da utilização de *software* próprio para o efeito (*Frotcom* e programas próprios das marcas dos veículos da empresa). O sistema de abastecimento da empresa é feito através de postos da Galp. Os litros abastecidos são registados de forma automática e a quilometragem é retirada diretamente do veículo. Os outros parâmetros são retirados dos *softwares* utilizados. Os dados foram organizados em tabelas, como se pode observar nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Excerto dos dados de caracterização da frota.

Veículo	Marca	Modelo	Potência útil máxima (kW)	Peso (kg)	Cilindrada (cm ³)	Idade (anos)	Combustível	Consumo total (L)
1	Scania	R440	440	8.571	12.742	4	Diesel	1.570
2	Scania	R410	302	8.584	12.742	2	GNL	3.293
3	MAN	TGX 18.480	353	7.350	12.419	7	Diesel	3.957

Tabela 2 - Excerto dos dados de caracterização da frota (continuação da Tabela 1).

Veículo	Distância (km)	Consumo médio (L/100 km)	Velocidade média (km/h)	Custos (€)
1	4.626	33,9	56,1	2.426
2	13.292	24,8	74,9	2.865
3	12.323	32,1	69,5	6.113

Posteriormente, foram analisadas as viaturas pesadas de mercadorias com maior representatividade na frota. Para tal, foram agrupadas as viaturas com pelo menos nove veículos de cada modelo a operar na empresa, uma vez que existem modelos predominantes na empresa e era necessário analisar uma amostra representativa e fidedigna. As viaturas que cumpriam esses requisitos são: Modelos R 410, R 420 e 12 L da marca SCANIA; modelo TGX 18.480 da marca MAN e modelo Premium 450 DXI da marca Renault. Todas as viaturas anteriormente referidas correspondem a 68% da totalidade das viaturas da empresa. Nas tabelas 3 e 4 encontra-se a caracterização da amostra.

Tabela 3 - Caracterização da amostra considerada.

Modelo	Qtd. veículos	Velocidade média (km/h)	Distância percorrida mensal (km)	Idade média (anos)
R 410	40	75,5	424.060	3,0
R 420	29	54,1	99.511	12,7
12 L	9	52,0	52.329	13,9
TGX 18.480	12	66,3	78.539	6,8
P. 450 DXI	35	51,7	104.745	12,4

Tabela 4 - Caracterização da amostra considerada (continuação da Tabela 3).

Modelo	Consumo médio (L/100km)	Desvio padrão consumo médio	Consumo total (L)	Consumo total (%)	€/km	€/veículo
R 410	27,2	1,9	115.429	35,2%	0,40	4.196
R 420	33,0	2,0	32.579	9,9%	0,48	1.633
12 L	33,8	1,3	17.233	5,3%	0,48	2.784
TGX 18.480	31,2	1,8	24.326	7,4%	0,45	2.947
P. 450 DXI	34,3	2,4	35.861	11,0%	0,50	1.490

As viaturas da amostra considerada correspondem a 69% do consumo de combustível total das viaturas da empresa e correspondem a 348.285 € da despesa total de combustível. Assim, serão estas as viaturas em que se deve concentrar as medidas de redução do consumo energético e impacte.

De modo a determinar quais os veículos que têm maior contribuição para o consumo total de combustível, foram analisados os modelos anteriores. Foram estudados os seguintes parâmetros: consumo médio de combustível por 100 km percorridos (l/ 100 km), consumo total de combustível (l), quilómetros percorridos (km), valor médio do custo por quilómetro percorrido (€/km) e valor médio do custo de combustível por veículo (€/veículo). Os custos anteriormente referidos foram calculados com base no preço médio do gasóleo adquirido pela empresa, tendo este um valor de 1,45 €/l.

As figuras Figura 12, Figura 13 e Figura 14 demonstram os parâmetros estudados anteriormente referidos. A Figura 12 mostra a soma do consumo total (referente ao mês de fevereiro de 2020) de cada modelo da amostra, por modelo de viatura. A Figura 13 possibilita analisar quais os veículos mais utilizados pela empresa (ou os veículos que se deslocam maior número de quilómetros). Um modelo de viatura que tenha um elevado consumo total, como é o caso do R 410, não implica que seja pouco eficiente. É necessário observar o gráfico da quilometragem (Figura 13) para se conseguir analisar se o veículo é pouco eficiente, se é um veículo que anda maior número de quilómetros ou se é simplesmente o modelo de veículo predominante da empresa (maior número de viaturas).

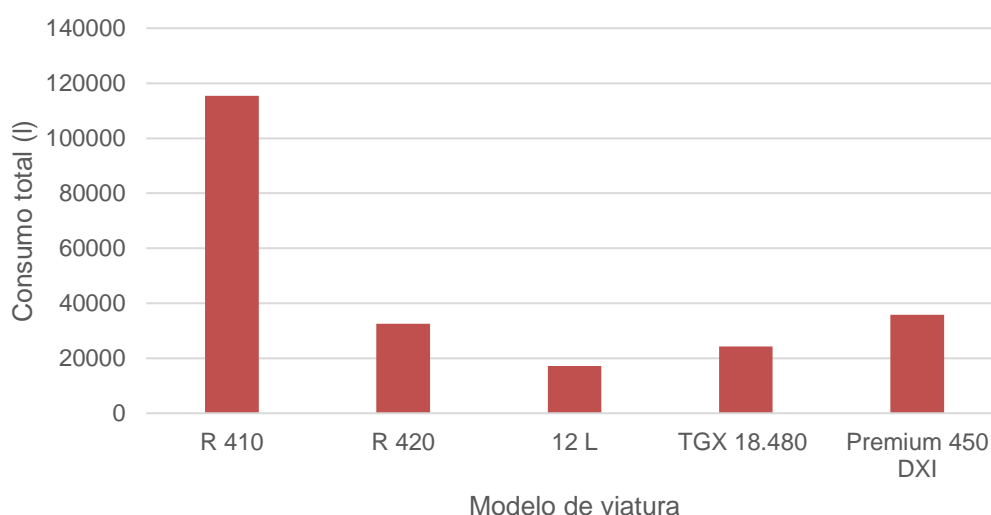


Figura 12 - Consumo total por modelo de viatura.

A Figura 13 mostra a quilometragem mensal percorrida pelas viaturas de cada modelo da amostra. É possível observar que o modelo de viatura que mais se desloca é o modelo R 410 (é também o modelo que tem maior número de veículos) e o que menos se desloca é o modelo 12 L (é também o modelo que tem menor número de veículos). Utilizando as figuras 12 e 13, é agora possível analisar a situação da frota. O modelo R 410 é o veículo que consome mais litros de combustível, mas também o que apresenta maior quilometragem. Isto deve-se a ser o modelo de veículo mais utilizado em serviço de transporte de mercadorias internacional. É de esperar que seja um modelo de veículo eficiente, já que apresenta quase 4 vezes mais quilómetros percorridos que litros de combustível consumidos. Por outro lado, o modelo Premium 450 DXI apresenta o segundo maior consumo total de combustível, mas não tem uma quilometragem mensal significativa. Assim, é de esperar que este veículo seja menos eficiente.

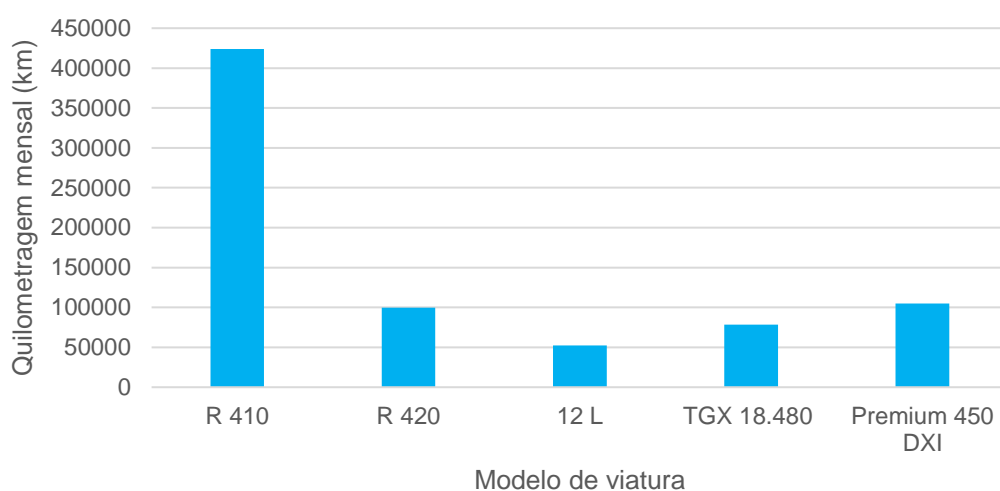


Figura 13 - Quilometragem mensal percorrida (km) por modelo de viatura da amostra (dados de todos os veículos dessa classe).

De modo a analisar a eficiência dos diversos modelos da amostra, foi construído o gráfico da Figura 14. A Figura 14 mostra o consumo médio por 100 km percorridos por modelo de viatura da amostra estudada. Com base neste gráfico, é possível observar a influência que os diferentes modelos têm no consumo médio por 100 km percorridos da empresa e quais os que são mais eficientes. É possível observar que o modelo de viatura mais eficiente da amostra, em termos de consumo energético (menor consumo médio por 100 km percorridos), é o R 410 da marca SCANIA e o menos eficiente é o Premium 450 DXI da marca Renault, como esperado.

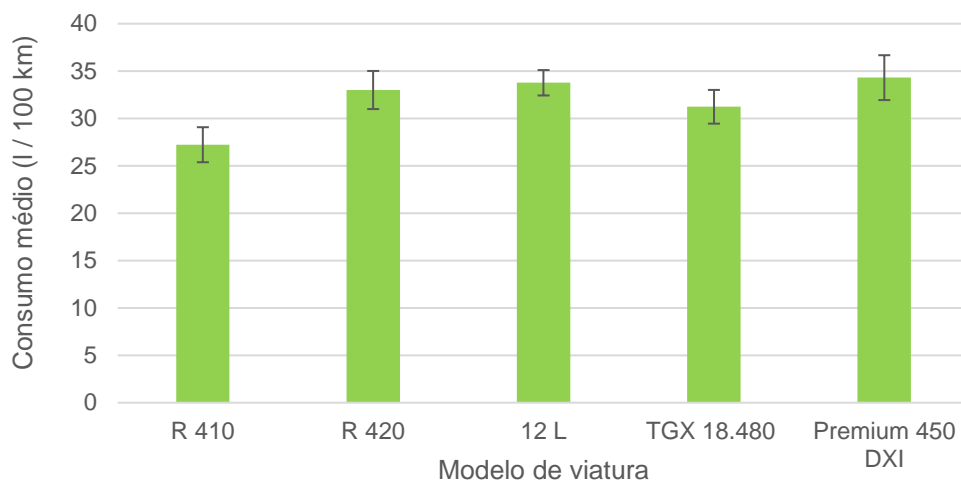


Figura 14 - Consumo médio por 100 km percorridos (l/100 km) por modelo de viatura da amostra.

Posteriormente foi obtido o gráfico de custo (€) por distância percorrida (km), de modo a poder comparar qual é o modelo de viatura mais económico. O gráfico encontra-se na Figura 15. Como era de esperar, o custo menos elevado por distância percorrida (km) corresponde ao modelo de veículo mais eficiente: R 410. O modelo menos eficiente (Premium 450 DXI) apresenta o maior custo por distância percorrida. É de notar que tanto o modelo 12 L como o modelo R 420, ambos da marca SCANIA, apresentam o mesmo custo por quilómetro. Ambos os modelos têm uma idade média dos veículos superior ao modelo Premium 450 DXI, o que indica que o último modelo é, aparentemente, menos interessante do ponto de vista económico e energético.

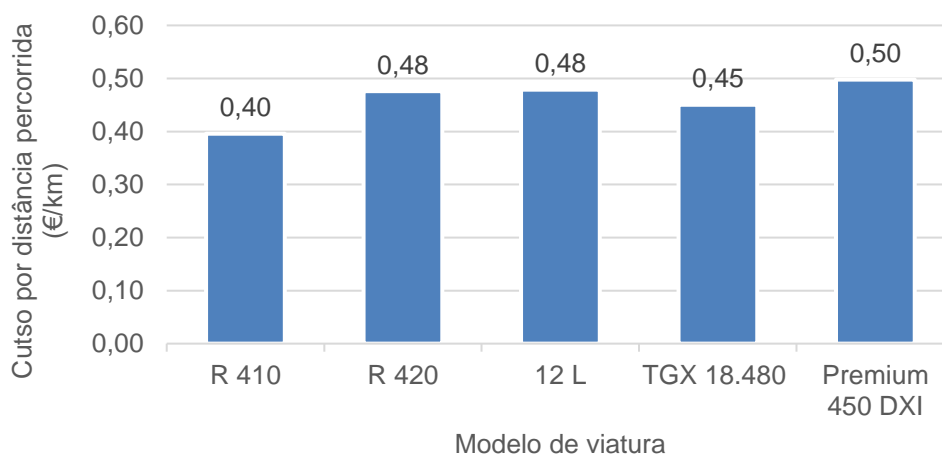


Figura 15 - Custo (€) por distância percorrida (km) da cada modelo da amostra.

Finalmente, foi obtido o gráfico da Figura 16 que mostra o custo de combustível (€) por veículo médio de cada modelo da amostra. Os dados que suportam as figuras são relativos ao mês de fevereiro de 2020. O modelo R 410 apresenta o maior custo por veículo (4.196 € por veículo), embora o consumo médio de combustível apresente um valor reduzido, quando comparado com os outros modelos. O elevado custo por veículo não é indicativo de um veículo menos eficiente, neste caso. Analisando a Figura 13 e a Tabela 3 rapidamente se percebe que o modelo R 410 é o modelo que percorre mais quilómetros (55,9% dos quilómetros percorridos da amostra), bem como o que tem maior número de

veículos atribuídos (22% das viaturas da frota da empresa), o que justifica a disparidade entre os valores do custo por quilómetro e do custo por veículo.

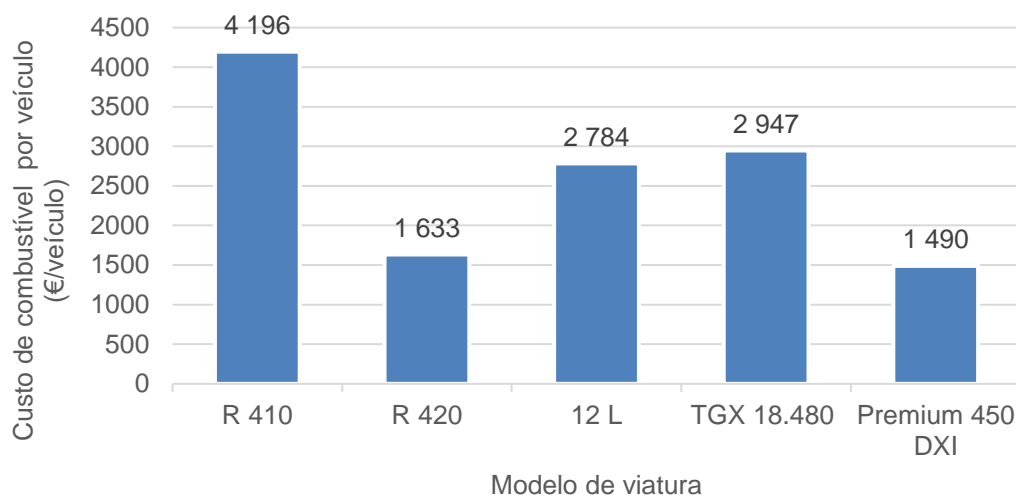


Figura 16 - Custo de combustível (€) por veículo médio de cada modelo da amostra.

Da análise anterior é possível tirar as seguintes conclusões:

- O modelo Premium 450 DXI é o que tem maior consumo médio por 100 km percorridos (L/100 km). Apesar de ter uma idade média dos veículos considerável, não é o que apresenta maior valor nesta categoria, o que pode indicar uma utilização ineficiente do veículo;
- O modelo R 410 é o que tem maior consumo total em litros de combustível, no entanto, também é o que percorre mais quilómetros. Estes veículos são os mais recentes e mais utilizados em serviços internacionais;
- O veículo que apresenta maior custo por quilómetro é o modelo Premium 450 DXI, que é também o veículo menos eficiente em termos energéticos;
- O modelo que apresenta maior custo por veículo é o R 410. No entanto, é o veículo mais eficiente em termos de consumo energético por 100 km percorridos. O elevado valor por veículo relaciona-se com o facto de ser o modelo com maior número de veículos atribuídos.

Foram também comparados os parâmetros: consumo médio, velocidade média, quilometragem e idade média dos veículos entre os cinco modelos da amostra considerada de modo a estudar como estes parâmetros influenciam o consumo das viaturas. Os resultados e discussão encontram-se no capítulo “4. Resultados e Discussão”.

3.3. Caracterização dos condutores da empresa

É importante relacionar a influência dos condutores e as características de cada veículo, de modo tirar conclusões da situação atual da empresa e sugerir possíveis melhorias, nomeadamente estratégias de eco-condução.

Assim, foram também analisadas as características dos condutores. Recolheu-se a idade de cada condutor da frota considerada, os anos de experiência (considerados apenas os anos de experiência desde a entrada dos condutores na empresa *Transportes Gama*) e o género. No total, a empresa tinha 171 condutores em fevereiro de 2020, período em que foram recolhidos os dados. Nas figuras Figura 17 e Figura 18 encontra-se representada a situação atual dos condutores da empresa, relativamente aos parâmetros mencionados.

A Figura 17 mostra a percentagem de condutores por intervalos de anos de experiência. É notório que a maioria dos condutores apresenta pouca experiência (até 5 anos). Por existirem tantos condutores com poucos anos de experiência na empresa, é recomendado dar formação a estes condutores, de modo a que possam melhorar as suas estratégias de condução, reduzindo o consumo de combustível e os custos associados. A empresa, atualmente, já tem um formador que dá formação aos condutores assim que estes entram na empresa, bem como sessões de formação ao longo do ano.

Os condutores da empresa dividem-se da seguinte forma, segundo os anos de experiência:

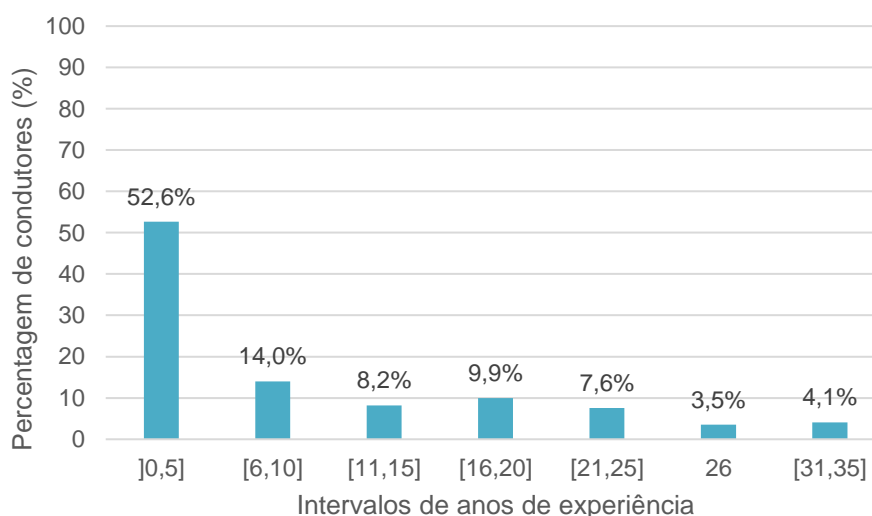


Figura 17 - Percentagem de condutores em função dos anos de experiência.

A Figura 18 mostra a percentagem de condutores por intervalos de idade. Analisando a figura é possível afirmar que a empresa possui maior número de condutores de meia idade. A maioria dos condutores tem entre 50 e 59 anos, inclusive. A segunda maior categoria é o intervalo de idades entre 40 e 49 anos. É possível concluir que a empresa tende a ter condutores de meia idade e poucos condutores jovens (apenas 7,1% de condutores com idades entre 20 e 29 anos).

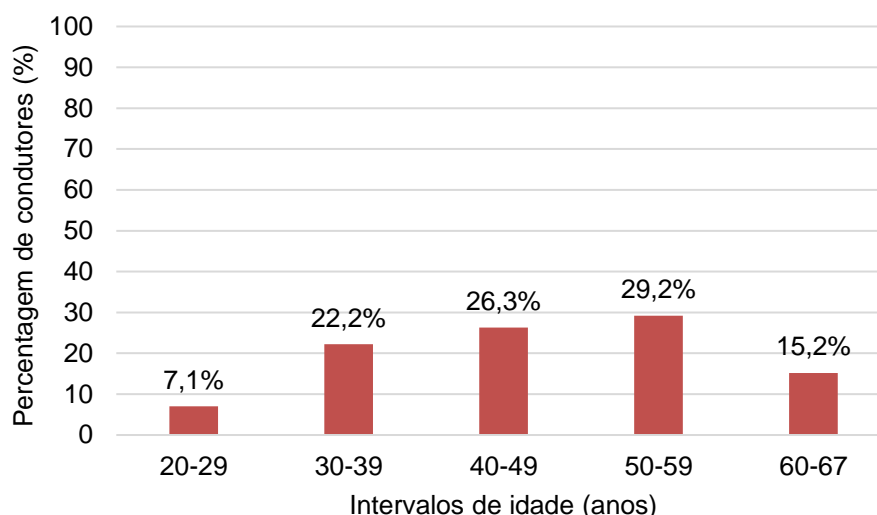


Figura 18 - Percentagem de condutores em função da idade.

Por último, foi também analisada a distribuição de condutores por género. É possível concluir que a maioria dos condutores são homens (98,8% dos condutores) e que apenas existem duas condutoras na empresa (1,2% do total dos condutores da empresa).

Em suma, é possível concluir que, relativamente à caracterização dos condutores da empresa:

- A empresa é maioritariamente constituída por condutores com pouca experiência (52,6% dos condutores têm no máximo 5 anos de experiência);
- A empresa é maioritariamente constituída por condutores de meia idade (55,5% dos condutores tem idades compreendidas entre 40 e 59 anos) e
- A empresa é maioritariamente constituída por condutores do género masculino (98,8% dos condutores).

Foi analisado o consumo médio (l/100 km) de cada viatura da amostra considerada, a quilometragem (km) e a velocidade média (km/h) por idade dos condutores, bem como por anos de experiência para analisar como os diferentes fatores influenciam a condução e onde é mais urgente reduzir o consumo. Os resultados dessas análises encontram-se no capítulo “4. Resultados e Discussão”.

3.4. Definição de medidas de eficiência energética

Com o intuito de analisar o impacte energético, são estudados o consumo de combustível e as estratégias de diminuição do mesmo. Para tal, foram abordadas as seguintes medidas de eficiência energética:

- Eco-condução: quantificação do potencial de poupança de energia se os condutores tivessem um melhor comportamento de condução;
 - Renovação da frota: avaliação da possibilidade de renovação da frota por veículos Euro 6 e
 - Adoção de tecnologias de veículo alternativas: avaliação da adoção de veículos elétricos e a pilha de combustível na frota da empresa.

3.4.1. Renovação da frota

Na análise relativa à renovação de frota, é avaliado o impacto energético e económico da utilização de veículos Euro 6. Esta norma impõe requisitos de emissão de poluentes que os veículos não podem exceder para atingir os objetivos da União Europeia relativamente à qualidade do ar. Em particular, é necessária uma redução das emissões de NOx dos veículos pesados para melhorar a qualidade do ar e cumprir os valores de emissões a nível nacional [64].

Analisou-se a situação de renovação da frota considerando que se iam adquirir novos veículos para substituir os veículos mais antigos. Tanto os novos veículos como os veículos da frota inicial são a gasóleo. O objetivo é perceber o impacto económico e energético que a aquisição de novos veículos da mesma tipologia tem na frota. Foi considerado que se queriam substituir 104 veículos, para manter a média de idade da frota abaixo dos 10 anos. Esta mudança de veículos corresponde a uma renovação de 56% da frota total, o que irá causar grande impacto em termos económicos e energéticos.

Para esta análise, recolheram-se os dados de 10% das viaturas mais eficientes da empresa e utilizaram-se esses dados para calcular a poupança mensal em custos de combustível face à situação atual da frota. Os dados de 10% das viaturas mais económicas da empresa foram extrapolados para as restantes viaturas da frota com o intuito de obter a frota mais eficiente possível, dentro do contexto real da empresa. Os dados recolhidos encontram-se na Tabela 5.

Para se avaliar a renovação da frota, foram recolhidos os seguintes dados: modelo do veículo, consumo médio de combustível por 100 km percorridos (l/100 km), velocidade média do veículo (km/h), consumo total de combustível (l) e quilometragem mensal (km) de cada viatura.

É importante referir que não é possível saber a massa da carga transportada pelos veículos, uma vez que a empresa não possui uma balança para pesar os veículos antes de estes realizarem as viagens. A massa da carga transportada é um fator que influencia o consumo dos veículos, no entanto, não foi possível estudar a sua influência no consumo das viaturas.

Tabela 5 - Dados de 10% das viaturas mais eficientes da empresa.

10% viaturas mais eficientes da empresa					
Veículo	Modelo	Velocidade média (km/h)	Consumo médio (l/100 km)	Consumo total (l)	Quilometragem mensal (km)
1	R 410	80,0	23,6	2.531	10.723
2	R 410	73,3	23,7	2.084	8.791
3	R 410	74,9	24,8	3.293	13.292
4	R 410	75,2	25,3	1.325	5.245
5	R 410	81,0	25,4	2.928	11.524
6	R 410	74,7	25,5	2.918	11.432
7	R 410	76,2	25,7	2.749	10.690
8	R 410	77,3	25,9	2.328	8.996
9	R 410	73,7	26,1	3.879	14.880
10	R 410	71,1	26,5	2.488	9.374
11	R 410	75,9	26,8	2.449	9.146
12	R 410	77,2	27,0	4.262	15.801
13	Actros 1843	68,8	27,2	1.870	6.885
14	Actros 1843	71,9	27,3	2.999	10.972
15	R 410	77,5	27,4	2.861	10.447
16	R 410	78,8	27,4	3.772	13.774
17	R 410	76,6	27,6	4.816	17.439
18	R 410	78,9	27,8	3.074	11.076
19	Actros 1843	77,8	28,9	2.802	9.700

Inicialmente, foi analisada a situação original da frota. Depois de recolhidos os dados, foi calculado o consumo acumulado de todas as viaturas da empresa, bem como a quilometragem acumulada e o consumo médio por 100 km percorridos (l/100 km) da frota inteira. Para se calcular o consumo médio por 100 km percorridos (l/100 km) da totalidade da frota, foi dividida a soma do consumo total de combustível (l) das 186 viaturas da empresa pela soma da quilometragem total (km) das viaturas da empresa. Esse valor é posteriormente multiplicado por 100 km.

De seguida, foi calculado o consumo médio por 100 km percorridos (l/100 km) dos 10% das viaturas mais eficientes da frota, utilizando a soma do valor do consumo total de combustível (l) dos 10% das viaturas mais eficientes e da soma da quilometragem mensal (km) dessas viaturas. Foram divididos os valores e multiplicados por 100 km.

Posteriormente, foram extrapolados os dados dos 10% de viaturas mais eficientes para as restantes viaturas da empresa, de modo a calcular o potencial de renovação da frota. Foi utilizado o consumo médio por 100 km percorridos das viaturas mais eficientes e multiplicado esse valor por 100 (para efeitos de acerto de unidades – l/km). Depois, foi multiplicado o valor anterior pela soma da quilometragem total das 186 viaturas da empresa. Como resultado, foi obtido o consumo de combustível total (l) da situação mais eficiente possível da frota da empresa.

Utilizando o consumo total de combustível (l), foi calculada a diferença energética entre a situação inicial da frota e a situação de renovação da mesma. Posteriormente, foi calculada a poupança mensal de custos de combustível (€). A poupança mensal de custos de combustível (€) foi calculada utilizando a equação (1).

$$PMC = PG * (C_i - C_f) \quad (1)$$

Em que:

PMC = poupança mensal dos custos de combustível (€);

PG = preço médio do gasóleo no mês de fevereiro de 2020 (€/l);

C_i = Consumo de combustível (l) da situação inicial da frota e

C_f = Consumo de combustível (l) da situação mais eficiente da frota.

Foi também calculado o tempo de retorno do investimento do projeto. Utilizou-se a poupança mensal dos custos de combustível (€) para ver quanto tempo ocorria até se pagar o investimento de aquisição das 104 novas viaturas para renovar a frota. Os resultados da renovação da frota encontram-se no capítulo “4. Resultados e Discussão”.

3.4.2. Potencial de eco-condução

A implementação de medidas de eco-condução é utilizada de modo a diminuir o consumo energético e as emissões de gases poluentes. Na empresa *Transportes Gama* já existe um formador que se dedica a implementar estratégias de eco-condução. Foi estudada a aplicação da medida de eco-condução de modo a analisar a sua eficácia.

Alguns dos benefícios de adotar uma estratégia de eco-condução são:

- Redução do consumo de combustível: quando adotada uma estratégia de eco-condução o consumo energético pode diminuir em 18% [4];
- Redução em custos de combustível: a redução do consumo de combustível leva à redução dos custos do mesmo. É estimado que possa existir um decréscimo de 10,2% dos custos de combustível [52];
- Impacte ambiental: a eco-condução reduz emissões de gases poluentes [53];
- Redução de acelerações e travagens excessivas e condução menos agressiva, o que dá origem a menor consumo energético e emissão de gases poluentes [54];
- Maior facilidade de manutenção do veículo [54] e
- Redução do número de acidentes de estrada: adotar uma medida de eco-condução pode reduzir até 40% a taxa de acidentes na estrada, 52% dos custos associados a acidente e melhora a segurança rodoviária [55].

Para estudar o potencial de eco-condução, começou-se por analisar os 10% de condutores mais eficientes da empresa, isto é, aqueles que apresentavam melhor desempenho em termos de consumo médio do veículo por 100 km percorridos (l/100 km). Foram analisados os dados (relativos ao mês de fevereiro de 2020) e construiu-se uma tabela com os seguintes parâmetros: nome do condutor, modelo do veículo, consumo médio por 100 km percorridos (l/100 km), velocidade média do veículo (km/h), consumo total de combustível (l) e quilometragem mensal (km) de cada viatura. A Tabela 6 mostra um excerto dos dados recolhidos. A Tabela 6 mostra apenas um tipo de modelo considerado, uma vez que é apenas um excerto da tabela real. A análise foi realizada sobre a amostra inicialmente considerada, logo foram analisados condutores de todos os modelos de viaturas da amostra, ainda que não apareça no excerto da Tabela 6.

Tabela 6 - Excerto da tabela dos dados recolhidos de 10% dos condutores mais eficientes.

Veículo	Modelo	Velocidade média (km/h)	Consumo médio (l/100 km)	Consumo total (l)	Quilometragem mensal (km)
1	R 410	80,0	23,6	2.531	10.723
2	R 410	73,3	23,7	2.084	8.791
3	R 410	74,9	24,8	3.293	13.292
4	R 410	75,2	25,3	1.326	5.245

Para fazer a análise económica, começou-se por retirar os dados relativos à situação inicial da frota. De seguida, calcularam-se os resultados para o potencial de eco-condução com os dados dos 10% de condutores mais eficientes. Calculou-se o consumo médio por 100 km percorridos (l/100 km) da totalidade dos condutores mais eficientes, o consumo total (l) e a quilometragem (km) e foram extrapolados os resultados para toda a frota, de modo a que todas as viaturas da empresa tivessem um dos condutores mais eficientes.

Posteriormente, fez-se a diferença de combustível total consumido (l) entre a situação inicial da frota e a situação do potencial de eco-condução. Por último, foi calculada a poupança mensal de custos associados ao combustível utilizando a equação (1).

Para calcular a poupança de custos mensais da situação do potencial de eco-condução (€), foi necessário calcular o custo de formação dos condutores. O custo de formação engloba os seguintes parâmetros:

- Salário anual do formador;
- Custos de sessões de formação e
- Custo de *softwares* utilizados.

Foi utilizada a equação (2) de modo a calcular a poupança de custos mensais relativamente ao potencial de eco-condução:

$$PCME = PMC - CF \quad (2)$$

Em que:

PCME = poupança de custos mensais relativamente ao potencial de eco-condução (€);

PMC = poupança mensal dos custos de combustível (€) e

CF = Custos de formação (€).

Por último, foi calculado o tempo de retorno do investimento para determinar quanto tempo seria necessário para que a poupança de custos fosse superior aos custos da formação.

Foi feita uma segunda análise relativamente ao potencial de eco-condução, com o intuito de estudar se a formação dos condutores é benéfica a curto e a longo prazo.

Para a análise dos benefícios da eco-condução a curto prazo, foram analisados três condutores, escolhidos aleatoriamente, de modo a compreender os efeitos da formação no desempenho da condução de cada um. Foi recolhido o dia em que cada condutor teve formação e analisados os dados dos 15 dias anteriores e posteriores à data da formação.

Para a análise dos benefícios da eco-condução a longo prazo, foi analisado se existia melhoria contínua de condução um mês após as sessões de formação. Para ver se existia melhoria contínua a

longo prazo, foram escolhidos dois condutores (aleatoriamente) que entraram na empresa aquando da realização desta tese. Os dois condutores escolhidos tiveram formação no dia seguinte à sua entrada na empresa. De seguida, foram retirados os dados relativos às viagens que os condutores realizaram uma semana após o dia de formação e um mês após o dia de formação. Os resultados do potencial de eco-condução encontram-se no capítulo “4. Resultados e Discussão”.

3.4.3. Adoção de tecnologias de veículos alternativas

A adoção de novas tecnologias de veículo alternativas surge como medida de redução de emissão de poluentes e de poupança no consumo de combustível. É feita uma análise económica de *Total Cost of Ownership* e de impacte energético abordando viaturas pesadas de mercadoria que surgiram recentemente no mercado [65].

Para estudar o impacte económico e energético de diferentes tecnologias, foi realizada uma análise de *Total Cost of Ownership* (TCO) com o intuito de comparar as diferentes tecnologias com os veículos convencionais. Esta análise englobou as seguintes viaturas:

- Viatura convencional a gasóleo (VC);
- Viatura convencional a gasóleo mais eficiente da empresa (VCE);
- Viatura convencional a gasóleo em contrato de *leasing* (VCL);
- Viatura convencional a gasóleo em contrato de *leasing* mais eficiente da empresa (VCEL);
- Viatura a GNL (VGNL);
- Viatura elétrica num cenário em 2020 (VE20) e em 2030 (VE30);
- Viatura elétrica num cenário em 2020 (VEB20) e em 2030 (VEB30) com uma troca de bateria;
- Viatura a pilha de combustível num cenário em 2020 (VPC20) e em 2030 (VPC30) e
- Viatura a pilha de combustível num cenário em 2020 (VPCB20) e em 2030 (VPCB30) com uma troca de bateria.

Optou-se por fazer a análise TCO considerando dois casos distintos para as baterias dos veículos das novas tecnologias: veículos que utilizam a mesma bateria durante todo o seu tempo de vida (10 anos) e veículos que têm de trocar a bateria uma vez durante o seu tempo de vida. As baterias têm vindo a desenvolver-se rapidamente durante o tempo e, atualmente, existem fabricantes de baterias que afirmam que a bateria que fabricam dura 10 anos [66]. No entanto, é considerada essa opção como sendo uma opção otimista. Para estudar todas as situações possíveis e plausíveis, foi analisado também o custo de um veículo que necessita de trocar a sua bateria uma vez durante o seu período de vida. A duração dessa bateria são 6 anos [67], o que para o veículo considerado são cerca de 2.000 ciclos, que é considerada a duração média de uma bateria [68].

Relativamente aos modelos de viaturas convencionais foram estudados diferentes cenários. Primeiro, foi analisada uma viatura convencional a gasóleo adquirida pela empresa (VC). De seguida, foi analisada a viatura a gasóleo mais eficiente adquirida pela empresa (VCE). Foram também considerados dois cenários para viaturas em contratos de *leasing*: uma viatura convencional a gasóleo em contrato de *leasing* (VCL) e a viatura mais eficiente a gasóleo em contrato de *leasing* (VCEL). A viatura VC é considerada o ponto de partida, visto que representa as viaturas médias da empresa. A viatura VCE representa as viaturas mais eficientes da empresa e o objetivo é poder observar como é que estas se comparam com as novas tecnologias. O cenário de contrato de *leasing* representa as viaturas que a empresa tem de pagar mensalmente para usufruir da utilização das mesmas. O objetivo é poder comparar os custos destas viaturas com os custos das viaturas adquiridas pela empresa e com os custos das novas tecnologias de veículos.

Para se realizar a análise de TCO, começou-se por simular as diferentes viaturas no *software FASTSim* e retirar o consumo de cada viatura, bem como a distância percorrida. Este *software* foi utilizado para simular um veículo convencional a gasóleo, um veículo elétrico e um veículo a pilha de combustível. O veículo GNL foi analisado de acordo com os dados reais da viatura GNL da empresa.

O *FASTSim* permite ao utilizador configurar o seu próprio veículo, escolher as especificações do mesmo e utilizar ciclos de velocidade para simular diferentes cenários. O *software* permite também a utilização de veículos e ciclos de velocidade já pré-programados.

Para a realização desta análise, foram utilizados ciclos de velocidade medidos em contexto real, a bordo de uma viatura representativa da empresa, utilizando um GPS da marca Garmin (GPSMap 76CSx). O GPS utilizado tem um altímetro barométrico e regista a posição do veículo (latitude e longitude) de segundo a segundo. Com base nos resultados de latitude e longitude, e sabendo que o tempo entre medições é 1 Hz, é possível calcular a velocidade a cada segundo. O GPS utilizado encontra-se na Figura 19. A variação da posição (longitudinal) e a variação da elevação foram utilizadas para calcular o declive do terreno com recurso a um script de *MATLAB*.



Figura 19 - GPS utilizado: Garmin GPSMap 76CSx.

Foram configurados três veículos distintos, com diferentes especificações, de modo a poder simular e comparar as três tecnologias diferentes:

- Veículo convencional a gasóleo. Este veículo foi simulado com o intuito de confirmar a exatidão do programa e dos resultados obtidos pelo mesmo. As características do veículo simulado baseiam-se num veículo real existente na empresa;
- Veículo elétrico. Este veículo foi simulado de acordo com algumas especificações do veículo *T9SJ* da *BYD* e
- Veículo a pilha de combustível. Este veículo foi simulado com base em algumas especificações do veículo *XCIENT Fuel Cell* da *Hyundai*.

A Tabela 7 mostra as especificações utilizadas para a simulação de cada veículo.

Tabela 7 - Especificações dos veículos simulados no FASTSim.

Tipo de viatura	ICEV	BEV	FCV
Comprimento (mm)	6.800	8.355	9.745
Largura (mm)	2.550	2.500	2.515
Altura (mm)	3.700	3.080	3.730
Tipo de veículo	Diesel	EV	FC
Peso em vazio (kg)	7.350	9.726	9.795
Autonomia	480 L	200 km	400 km
Potência do motor (kW)	358	150	350
Carga (kg)	18.000	18.000	18.000
Velocidade máxima (km/h)	90	90	85
Bateria (kWh)	-	217	73,2
Potência Fuel Cell (kW)	-	-	190
Coefficiente de resistência aerodinâmica	0,542	0,542	0,542
Coefficiente de resistência ao rolamento	0,006	0,006	0,006
Coefficiente de atrito	0,7	0,7	0,7
Distância entre eixos (m)	3,6	3,825	5,13

O veículo convencional é um veículo real da empresa onde se realizou a medição do ciclo de velocidade. Este modelo corresponde ao modelo TGX 18.480 e é um veículo ICEV. Para a medição do ciclo de velocidade, foi abastecido o veículo com combustível antes de iniciar a viagem, de modo a poder estimar o consumo médio no final do percurso. Durante a mediação dos ciclos de velocidade, foi feita a caracterização e análise do percurso de modo a perceber que variáveis poderiam influenciar o consumo médio, desde o declive da estrada ao tipo de percurso efetuado (citadino ou autoestrada). Aquando do tratamento dos dados dos ciclos de velocidade, foi realizado um ajuste exponencial dos resultados no *Excel* de modo a eliminar grandes variações de velocidade entre os pontos do ciclo.

A empresa não possui nenhuma balança de modo a pesar a carga que a VC transportava aquando da medição dos ciclos de velocidade. Assim, não foi possível simular o veículo convencional com o peso real da carga transportada pela VC. Nas especificações utilizadas, o veículo elétrico consegue transportar no máximo 18.000 kg de carga, sendo este o valor utilizado no *FASTSim* para simular este veículo. Uma vez que não era possível saber o peso real da carga transportada pela VC, foi admitida a massa da carga transportada por este veículo como sendo 18.000 kg, de modo a poder simular o veículo convencional no *FASTSim* e comparar os resultados obtidos com os resultados do veículo elétrico. Uma vez que a carga transportada tem impacto no consumo dos veículos, decidiu-se utilizar o mesmo valor de massa de carga transportada na simulação de todos os veículos. Posteriormente, foi calculado o erro percentual do valor do consumo médio da VC simulada no *FASTSim* face ao consumo médio real obtido na viagem a bordo da viatura. O erro percentual face ao valor real é relativamente baixo (9%), pelo que se considerou aceitável utilizar o valor da massa da carga transportada como 18.000 kg.

Para o veículo elétrico, as especificações do veículo foram retiradas do manual de especificações do modelo T9SJ da *BYD* [66] e para o veículo a pilha de combustível foram retiradas as especificações do veículo *XCIENT Fuel Cell* da *Hyundai* [69]. O veículo a pilha de combustível consegue transportar até 19.000 kg de carga, no entanto, para se comparar com o veículo elétrico e com o veículo convencional, assumiu-se também o valor da carga de 18.000 kg.

O veículo a GNL não foi simulado no *FASTSim*, porque o *software* não possui a opção de simular este tipo de veículos. Para fazer a análise TCO da viatura GNL foi usado o consumo de combustível real das viaturas a GNL, bem como os custos reais das viaturas a GNL da empresa.

Posteriormente, foram recolhidos os restantes parâmetros necessários à construção da análise TCO, nomeadamente:

- Preço de aquisição da viatura (€);
- Preço do combustível (€);
- Custos de reparação e manutenção da viatura (€);
- Preço residual (€): preço pelo qual a empresa consegue vender o veículo após o seu tempo de vida;
- Preço residual (€) das novas tecnologias de veículos;
- Custos das baterias, no caso do veículo elétrico e a pilha de combustível;
- Custos do arrendamento da viatura, em situação de *leasing* e
- Custos de impostos e taxas aplicadas sobre os veículos.

Os preços do gasóleo e do GNL foram obtidos através dos dados da empresa. A mostra a evolução dos preços de gasóleo adquirido pela empresa. A Figura 20 representa a variação mensal do preço de combustível desde 2016 a 2020, para cada mês. Para a análise TCO, foi considerado o preço médio do gasóleo no ano 2020.

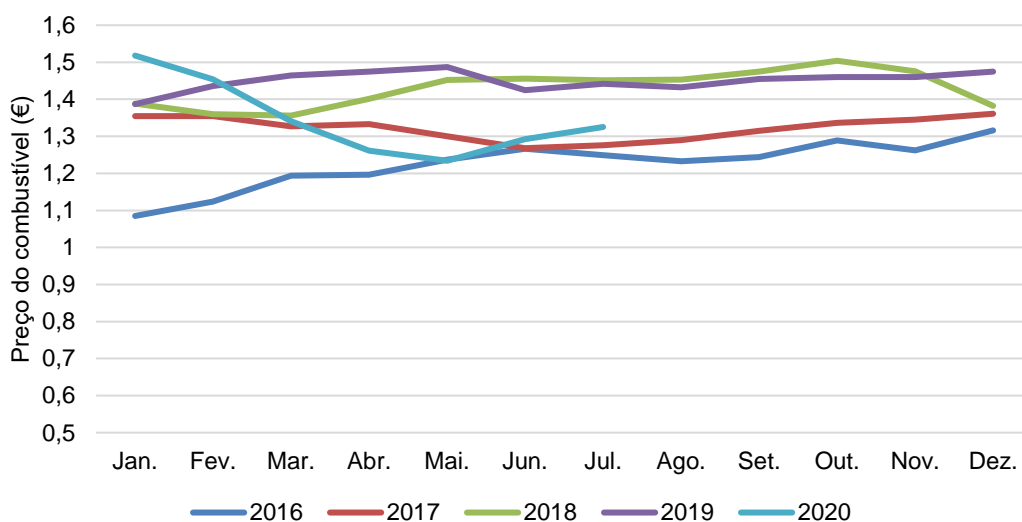


Figura 20 - Evolução mensal do preço de gasóleo ao longo dos anos.

Para se determinar o consumo total e a distância percorrida durante o tempo de vida das viaturas, os resultados retirados do *FASTSim* foram extrapolados para 10 anos.

Para se realizar a análise TCO das viaturas VC, VCE, VCL e VCEL todos os valores de custos, bem como o preço residual e os custos de *leasing* foram fornecidos pela empresa. Os custos associados à viatura VGNL também foram fornecidos pela empresa. Para a viatura VCE, os custos mantêm-se os mesmos da viatura VC, exceto o custo do combustível e o preço residual. O consumo da viatura VCE foi retirado da viatura mais eficiente da empresa. O preço residual do veículo VC foi considerado 2.000€ e o preço residual do VCE foi considerado 5.000€. Estes valores foram fornecidos pela empresa e correspondem aos valores reais dos preços residuais destes veículos, quando vendidos

pela empresa. O valor do preço residual dos veículos VGNL, VCL e VCEL foi considerado zero uma vez que os veículos se encontram em contratos de *leasing* e a empresa não vende os veículos no término do contrato.

Para fazer a análise TCO, foram necessários recolher vários dados da literatura existente para projetar os custos das novas tecnologias. Para a viatura VE20, foi necessário assumir diversos valores. Os valores do preço de aquisição da viatura foram obtidos através de um estudo comparativo entre veículos elétricos e veículos a pilha de combustível [70]. O preço de reparação e manutenção do veículo corresponde a 80% do preço de reparação e manutenção do veículo convencional [71]. O preço por kWh da eletricidade (€/kWh) foi considerado 0,30€/kWh, que é o preço real de carregamento nos postos de carregamento rápido portugueses [72]. O preço residual do veículo VE20 foi retirado de um estudo e foi considerado 40% do valor de aquisição do veículo [73]. Por último, os impostos e taxas correspondem apenas ao imposto único de circulação (IUC), que para veículos elétricos é nulo.

Para a viatura VE30 o valor do preço de aquisição da viatura também foi obtido através de um estudo comparativo entre veículos elétricos e veículos a pilha de combustível [70]. O preço residual do veículo VE30 corresponde a 48% do preço de aquisição do veículo em 2030 e tem o valor de 80.292€. Assumiu-se este valor com base no aumento do preço residual observado numa análise comparativa da literatura [70] e numa análise relativa à projeção futura deste tipo de veículos [73]. Os impostos e taxas correspondem apenas ao imposto único de circulação (IUC) que, como foi referido anteriormente, é nulo para veículos elétricos.

Para a viatura VPC20 também foi necessário assumir os valores anteriormente mencionados. Os valores do preço de aquisição da viatura e o valor dos impostos e taxas (que é nulo para veículos a pilha de combustível) foram todos retirados das mesmas fontes do veículo elétrico. O preço de reparação e manutenção do veículo corresponde a uma redução de 80% do preço de reparação e manutenção do veículo convencional [71]. O preço por quilograma de hidrogénio do veículo VPC20 foi considerado 13,80 (€/kg de H₂). Este valor foi retirado do custo real de abastecimento de hidrogénio do posto de abastecimento da *Shell* que existe na Califórnia, nos Estados Unidos da América [74]. O preço residual do veículo VPC20 foi calculado utilizando a seguinte equação (3):

$$PR = -PA \times (1 - 15 \times 10^{-7} \times PV \times DA - 0.476) \times (1 - TxD)^{-PV} \quad (3)$$

Em que:

PR = Preço residual

PA = Preço de aquisição

PV = Período de vida

DA = Distância percorrida (km) anual

TxD = Taxa de desconto

A equação utilizada encontra-se na literatura [75]. Foi considerada uma taxa de desconto de 5%, um período de vida de 10 anos e uma distância percorrida anual de 71.302 km.

Para a viatura VPC30 o valor do preço de aquisição da viatura foi obtido através do mesmo estudo comparativo entre veículos elétricos e veículos a pilha de combustível [70]. Para o preço por quilograma (€/kg) do hidrogénio para o veículo VPC30 foi considerada uma redução de preço de 15% do preço por quilograma do hidrogénio em 2020, após extrapolação de dados da literatura [70]. Prevê-se que em 2030 exista uma redução de 30% dos custos de produção de hidrogénio [76], o que origina a diminuição do preço de hidrogénio para o consumidor final. O preço residual do veículo VPC30 é 40% do valor do preço de aquisição do mesmo em 2030, com base na extrapolação de resultados da literatura [70].

A pilha de combustível utilizada nos veículos VPC20 e VPC30 foi a *FCmoveTM-HD* da *Ballard* [77] que tem 70 kW e autonomia de 30.000 horas. Considerando um dia de viagens como 8 horas e um ano como 365 dias, estima-se que a pilha de combustível durará cerca de 10 anos.

Para o veículo elétrico e para o veículo a pilha de combustível foram simuladas quatro viaturas para cada tecnologia: VE20, VE30, VEB20, VEB30 para os veículos elétricos e VPC20, VPC30, VPCB20 e VPCB30.

As viaturas VE20 e VPC20 analisam o custo das viaturas elétricas e a pilha de combustível atualmente (2020). Estas viaturas partem do pressuposto que as baterias utilizadas são baterias fabricadas pela *BYD* que duram 10 anos, tal como é anunciado pelo fabricante [66]. Uma vez que o período de vida de todas as viaturas analisadas na TCO é 10 anos, não é necessário existir substituição de baterias durante o período de vida das viaturas VE20 e VPC20. As viaturas VE30 e VPC30 analisam o custo das viaturas elétricas e a pilha de combustível num cenário daqui a 10 anos (2030), onde se pressupõe que os custos associados aos veículos sejam menos elevados devido ao aumento de produção e de procura deste tipo de veículos. Estes veículos também partem do pressuposto que as baterias utilizadas têm a duração de 10 anos, pelo que não é necessário haver substituição de baterias no período de vida dos veículos.

As viaturas VEB20 e VPCB20 também analisam o custo das viaturas elétricas e a pilha de combustível atualmente (2020), mas considera-se que as baterias têm de ser substituídas uma vez durante o período de vida das viaturas. Isso deve-se ao facto de se utilizarem baterias que têm duração de 6 anos por bateria [67], o que é uma visão menos otimista, mas mais realista face à duração das baterias atuais [68]. Uma vez que o período de vida das viaturas analisadas na TCO é 10 anos e a duração de vida das baterias é 6 anos, é necessário substituir as baterias uma vez durante o período de vida das viaturas VEB20 e VPC20. As viaturas VEB30 e VPC30 analisam o custo das viaturas elétricas e a pilha de combustível num cenário daqui a 10 anos (2030), onde também se pressupõe que os custos sejam menos elevados e que as baterias utilizadas tenham a duração de 6 anos, pelo que é necessário existir uma substituição de baterias no período de vida das viaturas.

A Tabela 8 mostra os dados utilizados na análise TCO com base nos valores anteriormente mencionados.

Tabela 8 - Dados utilizados na análise TCO.

Tipo de viatura	Preço de aquisição (€)	Custos de combustível I (€)	Reparação e manutenção (€)	Preço residual (€)	Custos das baterias (€)	Impostos e taxas (€)
VC	90.000	390.077	21.600	2.000	-	1.114
VCE	90.000	286.136	21.600	5.000	-	1.114
VCL	156.000	390.077	30.000	-	-	1.114
VCEL	156.000	286.136	30.000	-	-	1.114
VGNL	240.000	148.508	30.000	-	-	1.114
VE20	215.795	182.001	4.320	86.318	-	-
VE30	167.274	163.801	4.320	80.292	-	-
VEB20	215.795	182.001	4.320	86.318	82.347	-
VEB30	167.274	163.801	4.320	80.292	36.278	-
VPC20	159.956	526.243	4.320	53.570	-	-
VPC30	138.958	394.682	4.320	55.583	-	-
VPCB20	159.956	526.243	4.320	53.570	27.778	-
VPCB30	138.958	394.682	4.320	55.583	12.238	-

Os custos das viaturas VE20 e VEB20 apenas diferem nos custos das baterias, os outros custos mantêm-se iguais. Para as viaturas VPC20 e VPCB20 os custos também se mantêm iguais, exceto os custos das baterias. O valor do preço da bateria que tem de ser substituída nos veículos VEB20 e VPCB20 foi retirado de um relatório da consultora *McKinsey* [78]. É estimado que o preço das baterias das viaturas VEB30 e VPCB30 sofra um decréscimo de 10% face ao preço das baterias em 2020. O preço original da bateria foi retirado de um relatório da *McKinsey* [78] e a estimativa do decréscimo de 10% do valor das baterias teve como base uma extrapolação de dados da literatura [70].

3.5. Impacte da pandemia de COVID-19

A pandemia de COVID-19 trouxe diversas consequências para todos os setores da economia mundial. Como tal, foi estudado o impacto que a pandemia teve na empresa *Transportes Gama* desde março até junho de 2020, momento em que ocorreu a primeira vaga da pandemia em Portugal.

De modo a fazer este estudo, foi feita uma análise aos mesmos meses (de março a junho) da situação de pré-pandemia em 2019. Foram estudados os seguintes parâmetros: consumo total de litros de combustível, quilometragem (km) efetuada pelos veículos e diferença de custos de combustível (€) entre ambas as situações. A Tabela 9 demonstra como foram agrupados os dados para a situação de pré-pandemia em 2019.

Tabela 9 - Excerto dos dados recolhidos referentes à situação de pré-pandemia em 2019.

Veículo	Modelo	Período de recolha de dados	Mês	Consumo total (l)	Quilometragem (km)	Consumo médio (l/100 km)
1	R 420	1º semestre 2019	janeiro	1738	5.637	30,8
		1º semestre 2019	fevereiro	2.131	6.866	31,0
		1º semestre 2019	março	1.625	5.056	32,1
		1º semestre 2019	abril	1.738	5.658	30,7
		1º semestre 2019	maio	1.858	5.952	31,2
		1º semestre 2019	junho	1.697	5.450	31,1
2	R 420	1º semestre 2019	janeiro	2.322	7.608	30,5
		1º semestre 2019	fevereiro	1.489	5.084	29,3
		1º semestre 2019	março	1.953	6.398	30,5
		1º semestre 2019	abril	1.359	4.230	32,1
		1º semestre 2019	maio	1.710	5.367	31,9
		1º semestre 2019	junho	736	2.268	32,5

Para a situação de pandemia, foi realizada a Tabela 10 que demonstra os dados recolhidos referente aos meses de janeiro a junho de 2020.

Tabela 10 - Excerto dos dados recolhidos referentes à situação de pandemia em 2020.

Veículo	Modelo	Período de recolha de dados	Mês	Consumo total (l)	Quilometragem (km)	Consumo médio (l/100 km)
1	R 420	1º semestre 2020	janeiro	2.530	7.750	32,6
		1º semestre 2020	fevereiro	1.575	5.027	31,3
		1º semestre 2020	março	2.032	6.459	31,5
		1º semestre 2020	abril	1.208	3.834	31,5
		1º semestre 2020	maio	832	2.524	33,0
		1º semestre 2020	junho	758	2.498	30,3
2	R 420	1º semestre 2020	janeiro	2.407	7.013	34,3
		1º semestre 2020	fevereiro	1.165	3.415	34,1
		1º semestre 2020	março	2.040	6.176	33,0
		1º semestre 2020	abril	2.098	6.488	32,3
		1º semestre 2020	maio	1.950	6.140	31,8
		1º semestre 2020	junho	2.038	6.329	32,2

As tabelas anteriores são apenas um excerto dos dados recolhidos, pelo que só aparece um modelo de viatura. No entanto, foram analisadas as 186 viaturas da empresa. Após a recolha de dados procedeu-se à análise do impacto da pandemia de COVID-19. Estudou-se a diferença entre os quilómetros percorridos, o consumo total de litros de combustível e a diferença de custos associados ao combustível entre a situação do primeiro semestre de 2019 e o primeiro semestre de 2020.

4. Resultados e Discussão

4.1. Parâmetros que influenciam o desempenho do veículo

Este subcapítulo analisa alguns parâmetros que influenciam o desempenho de cada modelo de veículo. O objetivo é perceber como é que as diferentes características dos veículos influenciam o desempenho do mesmo. A análise foca-se principalmente no consumo médio dos veículos.

Um veículo mais pesado tem tendência a consumir mais combustível [79], no entanto, não é possível analisar o fator de carga no consumo do veículo, uma vez que a empresa não dispõe de uma balança para pesar os veículos carregados.

Comparando a cilindrada do motor com o consumo médio, é possível verificar na Tabela 1 que motores com maiores cilindradas vêm associados a menores consumos, uma vez que motores com maior cilindrada têm menores perdas térmicas e perdas mecânicas, pelo que o rendimento mecânico é mais elevado [80]. Um veículo com menor idade tende também a percorrer mais quilómetros, uma vez que veículos mais recentes são capazes de se deslocar a maiores distâncias sem apresentar problemas de funcionamento. As figuras Figura 21, Figura 22, Figura 23 e Figura 24 representam a relação mais detalhada entre diferentes parâmetros que também interessam analisar.

A Figura 21 mostra a variação do consumo médio de acordo com a velocidade média para cada modelo da amostra considerada. É importante salientar que a Figura 21 não mostra que o aumento de velocidade leva ao aumento de consumo (que se deveria verificar), apenas demonstra os resultados reais das viaturas da empresa. O modelo R 410 destaca-se pela positiva visto que não só apresenta o menor consumo entre todas as viaturas, como também a maior velocidade média entre elas, o que poderia impactar negativamente o consumo do veículo. Existem dois tipos de viaturas que se encontram muito próximas uma da outra, a R 420 e a 12 L. É de notar que estas viaturas fazem parte da mesma marca, têm a mesma cilindrada e idades semelhantes. Ainda que tenham menor velocidade, o consumo médio é adequado. Os tipos de veículos com pior desempenho, nesta situação, são o TGX 18.480 e o Premium 450 DXI, uma vez que apresentam elevados consumos médios, sendo o Premium 450 DXI a viatura com pior desempenho na relação entre consumo médio e velocidade média.

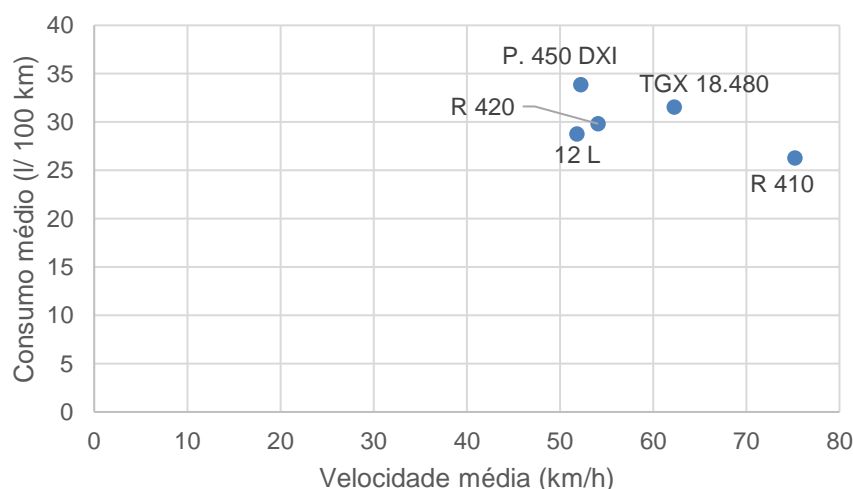


Figura 21 - Consumo médio por velocidade média de cada modelo da amostra.

De seguida, é analisada na Figura 22 a relação entre consumo médio e quilometragem mensal dos veículos da amostra. O modelo que se destaca novamente pela positiva é o R 410. O consumo é o mais baixo (como referido anteriormente) e é o modelo de viatura que anda mais quilómetros mensalmente. Isto deve-se ao facto de ser o modelo com média de idades dos veículos mais baixa, logo é o mais utilizado para realizar transporte de mercadorias internacional. É de esperar que o modelo R 410 faça percursos de autoestrada mais frequentemente que as outras viaturas, o que explica em parte o bom desempenho do modelo. As viaturas mais velhas (450 DXI, R 420 e 12 L) são as que andam menos quilómetros, sendo a 450 DXI a que apresenta pior desempenho. No entanto, é também o modelo que realiza menos quilómetros, o que indica que faça um percurso de transporte de mercadorias nacional, com percursos mais citadinos e regionais.

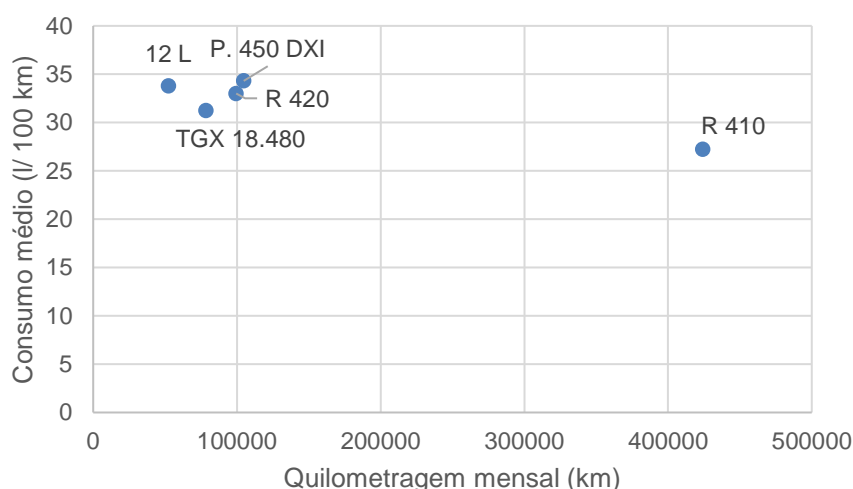


Figura 22 - Consumo médio por quilometragem mensal de cada modelo da amostra.

A idade dos veículos é um fator importante na análise do consumo dos veículos. As figuras Figura 23 e Figura 24 mostram a relação entre estes parâmetros. Relativamente à influência da idade do veículo no consumo médio, seria de esperar que uma viatura com maior idade tivesse maior consumo, no entanto, isso só se verifica em alguns veículos. Os modelos R 420 e 450 DXI têm idades semelhantes, no entanto, existe uma diferença notória entre o consumo médio.

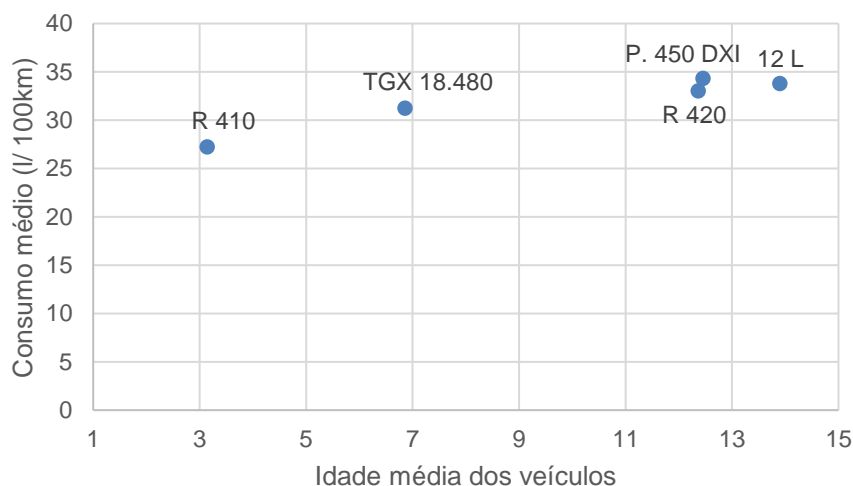


Figura 23 - Consumo médio por idade média de cada modelo da amostra.

Comparando agora as idades dos veículos com a velocidade média a que cada um se desloca, é possível concluir que, com o aumento da idade, existe uma redução da velocidade média, como é possível observar na Figura 24.

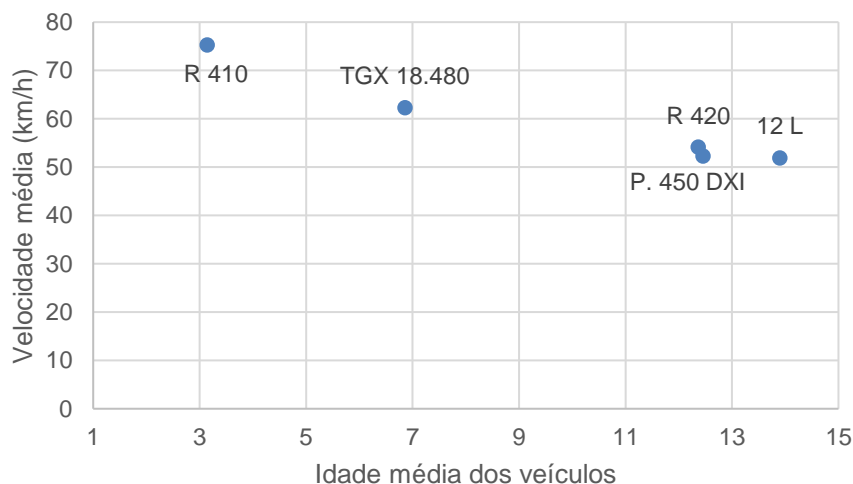


Figura 24 - Velocidade média por idade média de cada modelo da amostra.

É possível concluir que o modelo que se destaca pela positiva é o R 410, que apresenta maior velocidade média, maior quilometragem e menor consumo médio entre todas. A viatura que apresenta maior consumo e velocidades mais baixas é a 450 DXI. É ainda importante salientar que a viatura TGX 18.480, ainda que seja das mais jovens da frota, apresenta elevados consumos.

4.2. Análise de cada modelo por idades dos condutores

O objetivo desta análise é perceber como é que o fator “condutor” influencia o desempenho do veículo. A análise consistiu no estudo de cada tipologia de veículo e comparou os parâmetros de velocidade média, quilometragem e consumo médio relativamente à idade dos condutores.

Foram realizados gráficos que permitem analisar como é que o consumo médio, a velocidade média e a quilometragem variam de acordo com as idades dos condutores. Cada gráfico é relativo a um modelo distinto. É possível concluir, das análises anteriores, que o modelo R 410 é o tipo de veículo com melhor desempenho e, possivelmente, o mais atrativo energeticamente para a empresa.

A Figura 25 demonstra como varia o consumo médio consoante a idade dos condutores, para cada modelo de viatura. O consumo médio de cada modelo é relativo à classe de veículos e os dados refletem os consumos médios do mês de fevereiro de 2020.

Para o modelo R 410, os condutores mais velhos apresentam o maior consumo diário médio de combustível. Isto pode dever-se a estes condutores manifestarem uma certa relutância em mudar os seus hábitos de condução [81]. De seguida analisa-se o modelo R 420, um dos modelos com idade média dos veículos mais elevada. Para este modelo, os consumos mais altos correspondem aos condutores com idades entre 50 e 59 anos. Os condutores com idades situadas entre 40 e 49 anos são os que têm consumo mais baixo.

Seguidamente, analisa-se o modelo 12 L, que são os veículos que apresentam maior idade média das viaturas da amostra. Todos os consumos deste modelo são extremamente elevados. Segundo o formador da empresa, o consumo desejado é no máximo 30L/100km, pelo que se pode considerar que o consumo dos veículos 12 L é pouco desejado na empresa. O consumo menos elevado é o dos condutores mais jovens e o dos condutores de meia idade. Os consumos entre os outros condutores são relativamente semelhantes, sendo o grupo com maior consumo os condutores com 30 a 39 anos.

Para o modelo TGX 18.480, os condutores que consomem mais combustível têm entre 60 e 67 anos, visto que são condutores que podem estar relutantes em adotar estratégias de eco-condução.

Por último, temos o modelo que consome mais combustível, Premium 450 DXI. Os gráficos de consumo da Figura 25 mostram que os condutores que apresentam maior consumo são os condutores de meia idade. Os condutores de meia idade apresentam grandes consumos de combustível e é importante ter especial atenção a este grupo. Em todas as categorias, o modelo Premium 450 DXI é o que tem consumos mais elevados quando comparado com os outros modelos. Isto pode sugerir que este modelo é um modelo menos eficiente e com características menos apelativas quando comparado com os outros.

Em suma, é possível concluir que os consumos mais elevados estão situados, maioritariamente, nos condutores de meia idade e condutores mais seniores, o que vai de acordo ao encontrado na literatura relativamente a estes condutores manifestarem uma certa relutância em mudar os seus hábitos de condução [82]. Após questionado o formador, o mesmo afirma que os condutores de meia idade apresentam maior relutância em querer aprender novas estratégias de condução.

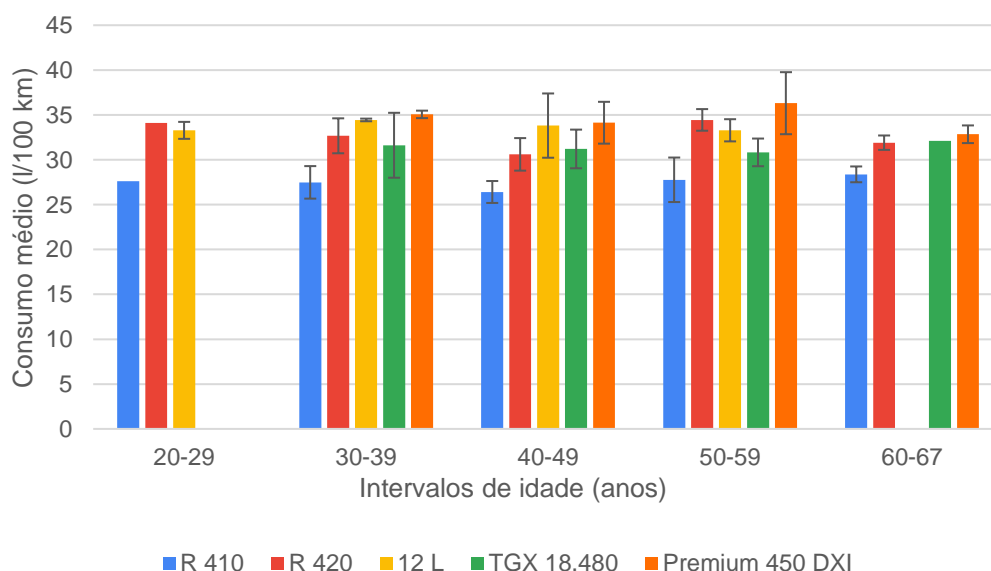


Figura 25 - Consumo médio por intervalos de idade dos condutores de cada classe de veículos.

De seguida, apresenta-se o gráfico com os resultados da análise da velocidade média por idade dos condutores. O gráfico encontra-se na Figura 26. O primeiro modelo analisado é o R 410. É possível constatar que a velocidade média varia pouco consoante a idade dos condutores. Os condutores com idades compreendidas entre 30 e 39 anos apresentam maiores valores de velocidade média. Os condutores mais jovens têm a segunda velocidade média mais alta. Isto pode justificar-se devido a condutores mais jovens terem menores tempo de reação que condutores mais velhos [83]. No entanto, os condutores mais seniores têm mais experiência e confiança a manobrar o veículo, o que contribui para o aumento de velocidade.

Relativamente ao modelo R 420, como é possível observar, os condutores mais jovens são os que se deslocam a velocidades médias mais elevadas. O tempo de reação dos condutores mais jovens tende a ser menor, como anteriormente referido. Analisando a velocidade média do modelo 12 L, as viaturas que se deslocam a maior velocidade são as correspondentes também aos condutores mais jovens. É de notar que os condutores com idades compreendidas entre 40 e 49 anos apresentam elevado desvio padrão nos seus resultados, o que significa que existe maior variância entre os resultados obtidos.

Para o modelo TGX 18.480, os condutores que se deslocam a maior velocidade são os condutores de meia idade, enquanto que os condutores entre 30 e 39 anos são os que se deslocam a menores velocidades. Este facto é incomum, no entanto, os condutores mais seniores deste modelo têm todos elevados anos de experiência. Os condutores podem sentir-se mais confiantes para se deslocarem com maior rapidez. Os resultados para o modelo Premium 450 DXI demonstram que os condutores que apresentam maior velocidade média são novamente os mais seniores. Tal como no modelo TGX 18.480, estes condutores podem apresentar maior confiança em manobrar o veículo, uma vez que também têm elevada experiência.

Em suma, é possível afirmar que a variação da velocidade média entre cada modelo é elevada. A maioria dos veículos apresenta velocidades médias mais elevadas para a categoria dos condutores mais jovens. Isto pode ocorrer devido ao menor tempo de reação dos condutores mais jovens.

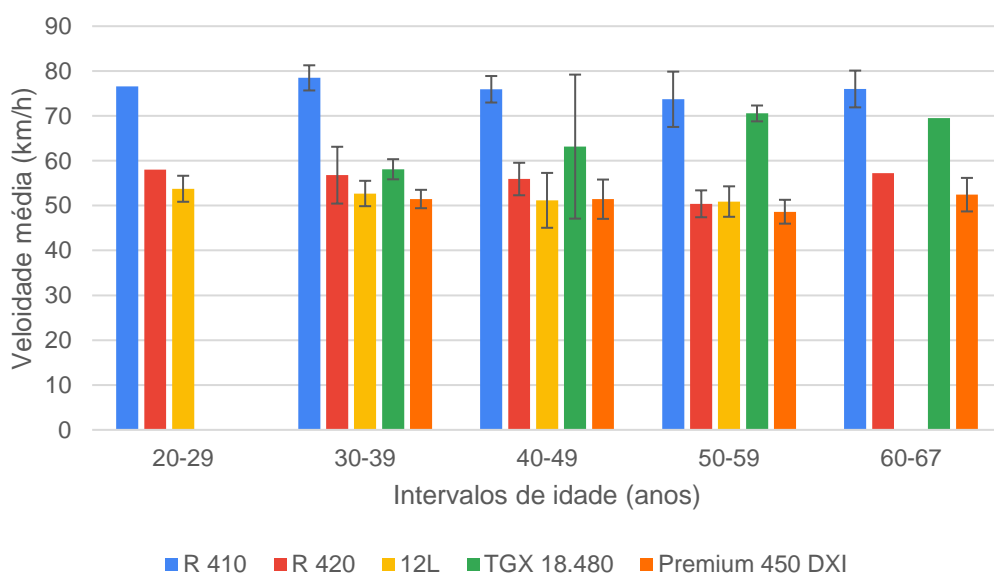


Figura 26 - Velocidade média por intervalos de idade dos condutores de cada classe de veículos.

Por último, estudou-se a influência da idade dos condutores na distância percorrida pelos mesmos. A Figura 27 apresenta os resultados obtidos. Para quase todos os modelos (exceto o Premium 450 DXI), a quilometragem máxima corresponde aos condutores de meia idade. Isto deve-se ao facto de serem estes condutores os mais propícios a realizarem serviços de transporte de mercadorias internacionais, logo percorrem maior número de quilómetros. É importante salientar que a empresa é constituída maioritariamente por condutores de meia idade (26,3% de condutores com 40-49 anos e 29,2% de condutores com 50-59 anos). Isto leva a que existam maior número de quilómetros percorridos nestas categorias porque a quilometragem apresentada na Figura 27 está por classe de veículos e não por veículo individual.

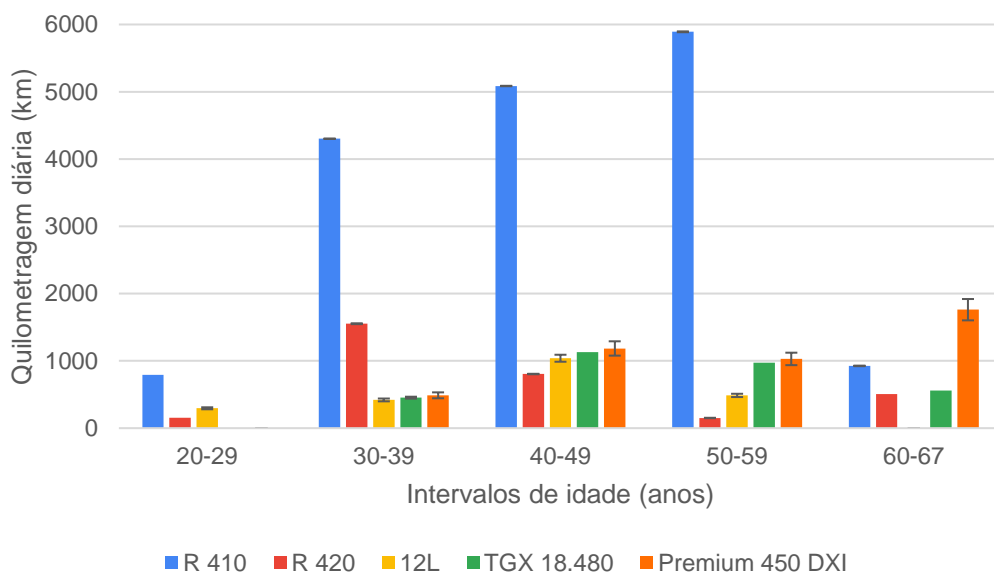


Figura 27 - Distância percorrida por intervalos de idade dos condutores de cada classe de veículos.

Após a análise do consumo médio, da velocidade e da quilometragem dos veículos da amostra em função da idade dos condutores, é possível concluir:

- Os consumos médios mais elevados estão situados, maioritariamente, nos condutores de meia idade e nos condutores mais seniores;
- A maioria dos veículos apresenta velocidades médias mais elevadas para a categoria dos condutores mais jovens e
- Os condutores de meia idade tendem a percorrer maior número de quilómetros.

4.3. Análise de cada modelo por anos de experiência dos condutores

O objetivo desta análise é perceber como é que os anos de experiência dos condutores influenciam o desempenho do veículo. A análise consistiu no estudo de cada tipologia de veículo e comparou os parâmetros de consumo médio, velocidade média e quilometragem diária relativamente aos anos de experiência dos condutores.

A Figura 28 demonstra a variação do consumo médio em função dos anos de experiência dos condutores. Para o modelo R 410 são os condutores com 21 a 25 anos de experiência que apresentam maior consumo. Os condutores mais experientes são os que, normalmente, têm mais relutância em adotar estratégias de eco-condução, como anteriormente referido.

Relativamente ao consumo e anos de experiência do modelo R 420, a categoria que apresenta maior consumo são os condutores com 11 a 15 anos de experiência. O modelo 12 L compreende apenas nove veículos pelo que o número de resultados é menor e não existe muita informação de consumo médio em relação aos anos de experiência. Existem apenas condutores com pouca experiência e condutores com 26 anos de experiência. Comparando estes dois grupos, os condutores com menos anos de experiência apresentam maior consumo, o que seria esperado.

Para o modelo TGX 18.480 os condutores que consomem mais são os condutores com 6 a 10 anos de experiência e os que têm menor consumo são os condutores com 16 a 20 anos de experiência. Por último, foi analisado o modelo Premium 450 DXI. Este modelo, tal como referido anteriormente, é o que apresenta maior consumo de todos os modelos. Os condutores que apresentam maior consumo para este modelo são os condutores com mais anos de experiência. Estes condutores podem estar mais reticentes em adotar estratégias de eco-condução. No entanto, os altos consumos de todos os condutores podem sugerir que o modelo em causa é pouco eficiente.

Em termos de consumo e anos de experiência, parece haver a tendência de existir maiores consumos para condutores com menos experiência (como é de esperar) e para condutores com anos de experiência mais elevados, que podem não querer mudar os seus hábitos de condução.

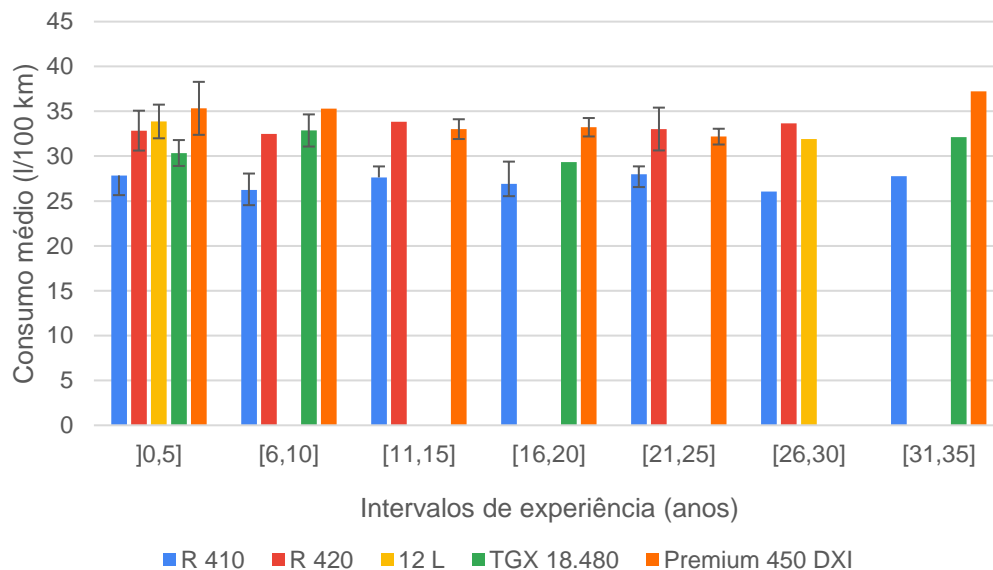


Figura 28 - Consumo médio por intervalos de experiência dos condutores de cada classe de veículos.

De seguida, foi estudado o efeito dos anos de experiência na velocidade a que os veículos se deslocam, como se pode observar na Figura 29. O primeiro modelo a ser analisado foi o R 410. Para este modelo é possível constatar que os condutores que apresentam velocidades mais elevadas são os condutores experientes com 26 anos de experiência. Analisando agora a velocidade média do modelo R 420, repara-se que, para este modelo, os condutores com 26 anos de experiência são os que andam a menor velocidade e os que se deslocam a maior velocidade são os condutores com menos experiência.

Quanto à velocidade do modelo 12 L, este modelo tem apenas duas categorias de anos de experiência. Entre os condutores menos experientes e os condutores mais experientes, os que apresentam maior velocidade média são os mais experientes, como era de esperar.

Para o modelo TGX 18.480 existem grandes diferenças de velocidade de um grupo de condutores para outro. Os condutores mais experientes são os que apresentam maiores valores de velocidade. Os condutores com 6 a 10 anos de experiência são os que apresentam menor velocidade, no entanto, os dados dessa categoria apresentam elevado desvio padrão, o que indica elevada variância entre os resultados.

Por último, analisa-se o modelo Premium 450 DXI. De acordo com o gráfico de velocidade os condutores mais velhos são os que se deslocam menos depressa. As velocidades a que estes

condutores se deslocam são, normalmente, mais baixas que os condutores de outras tipologias de veículo. Este tipo de veículo é um dos que mais requer atenção pois, não só se desloca a baixas velocidades, como tem elevados consumos de combustível. É possível que o veículo seja menos eficiente.

Concluindo, é possível afirmar que os condutores que tendem a deslocar-se a velocidades mais elevadas são também condutores que já têm alguma experiência e confiança na sua condução.

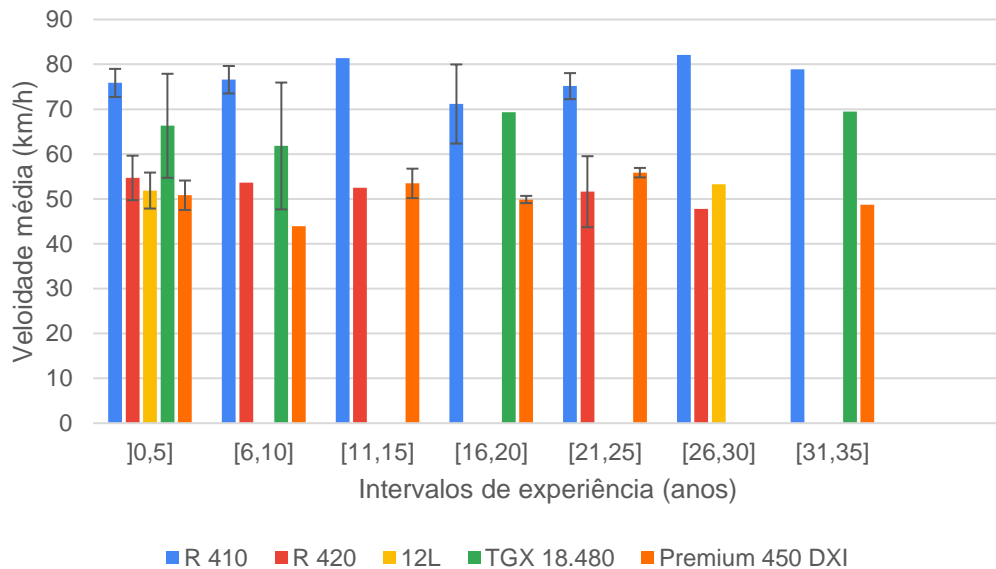


Figura 29 - Velocidade média por intervalos de experiência dos condutores de cada classe de veículos.

Por último, foi analisada a quilometragem dos condutores por anos de experiência. A Figura 30 representa a distância percorrida acumulada nos diferentes modelos analisados da amostra.

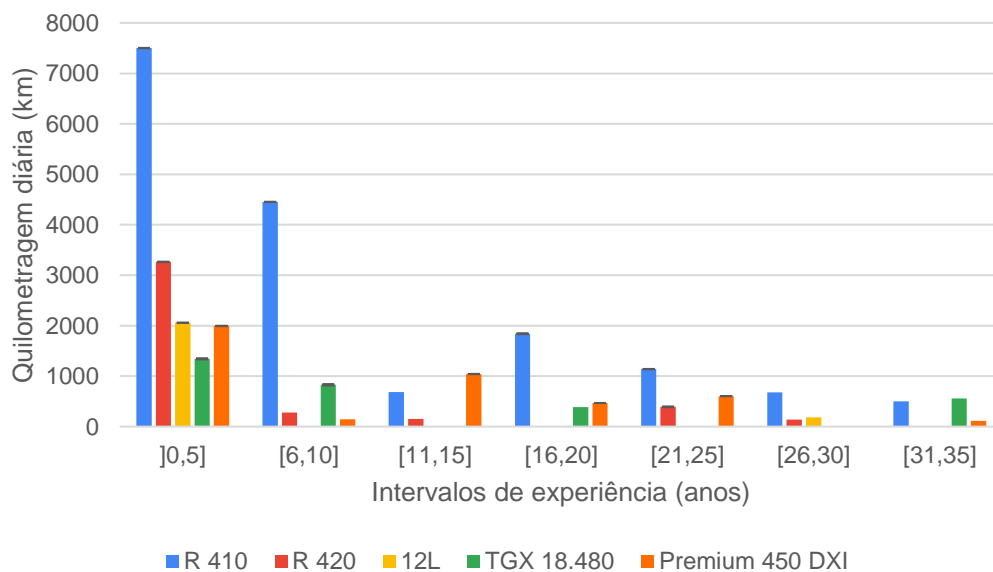


Figura 30 - Distância percorrida por intervalos de experiência dos condutores de cada classe de veículos.

Como é possível de observar, todas as categorias apresentam valores superiores de quilometragem para os condutores com menos experiência. O principal fator é a quantidade de condutores com pouca experiência que existe na empresa, que corresponde a 52,6% dos condutores totais. Assim, como existem mais condutores com menos experiência e a Figura 30 representa a classe de veículos e não os veículos individualmente, é óbvio que a quilometragem total também será superior para essa categoria.

Concluindo, quando analisados os condutores por anos de experiência é possível afirmar:

- Existem maiores consumos para condutores pouco experientes e para condutores com mais anos de experiência, que podem estar reticentes em mudar os seus hábitos de condução;
- Os condutores que tendem a deslocar-se a velocidades mais elevadas são também condutores que já têm alguma experiência e
- Os condutores que percorreram maior número de quilómetros foram aqueles em que existe maior número de condutores na empresa, que correspondem aos condutores com menor experiência.

4.4. Potencial de renovação da frota

Após analisar a renovação da frota, foram calculados os resultados do consumo total de 10% das viaturas mais eficientes da frota, que corresponde a 55.427 litros. Foi também calculada a distância percorrida e o consumo médio. As viaturas por mês percorreram 210.187 km e tiveram um consumo médio por 100 km percorridos de 26,4 l/100 km.

Os dados da situação inicial da frota (situação correspondente a fevereiro de 2020) são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Dados da situação inicial da frota.

Situação geral atual (todas as viaturas)			
Velocidade média (km/h)	Consumo médio (l/100 km)	Consumo total (l)	Quilometragem mensal (km)
61,5	32,2	327.610	1.105.174

Foi calculada a diferença energética entre a situação inicial da frota e a situação de renovação da mesma, originando os litros de combustível que se poupam mensalmente com a renovação da frota. Posteriormente foi calculada a poupança de custos de combustível mensal utilizando a equação (1). Os resultados encontram-se na Tabela 12. É possível concluir que, após a renovação da frota, poupam-se 36.170 l de combustível mensalmente, o que corresponde a uma poupança de custos de combustível mensal de 52.591€.

Tabela 12 - Dados do potencial de renovação da frota.

POTENCIAL DE RENOVAÇÃO DE FROTA				
Consumo médio (l/100 km)	Consumo total (l)	Quilometragem mensal (km)	Poupança de combustível (l)	Poupança mensal dos custos de combustível (€)
26,4	291.440	1.105.174	36.170	52.591

Ao se dar a renovação da frota, é possível concluir que há um decréscimo de consumo de combustível de 11%. Rapidamente se percebe que alterar os veículos da frota por veículos da mesma tipologia é uma medida com forte impacto energético e económico.

Foi ainda analisado o tempo de retorno do investimento do projeto. Foram extrapolados os dados anteriores para se calcular o potencial de renovação da frota anual. Cada viatura que a empresa pretende adquirir tem um custo de 90.000€. A poupança anual em custos de combustível corresponde a 631.093 €, quando analisada uma frota com viaturas mais eficientes. Uma vez que se quer renovar 104 viaturas da frota, o impacto económico e o investimento inicial serão elevados. Assim, o tempo de retorno do investimento do projeto corresponde a 15 anos, o que ultrapassa em larga medida o tempo médio de vida útil de um veículo pesado na empresa.

4.5. Potencial de eco-condução

Relativamente ao potencial de eco-condução, foi calculado o consumo médio por 100 km percorridos (l/100 km) dos 10% dos condutores com melhor desempenho e o resultado foi 27,7 l/100km. A quilometragem total corresponde a 93.036 km percorridos e a soma do consumo total de combustível foi 25.791 l de combustível utilizado. Comparando a situação de renovação da frota com o potencial de eco-condução, rapidamente se percebe que existe maior redução de consumo total de combustível na primeira. No entanto, apostar em estratégias de eco-condução pode ser mais económico a curto prazo.

Para fazer a análise económica, começou-se por retirar os dados relativos à situação inicial da frota. De seguida, com os dados dos 10% de condutores mais eficientes, fez-se a diferença de combustível consumido (l) entre a situação inicial e a situação do potencial de eco-condução. Por último, foi calculada a poupança mensal de custos associados ao combustível utilizando a equação (1).

Os resultados são apresentados na Tabela 13. É possível observar que existe uma poupança de combustível consumido de 21.240 l, o que equivale a uma poupança de custos de combustível de 30.883 €. Após retirados os custos de formação, obtém-se uma poupança de custos final de 27.711 € por mês.

Tabela 13 - Dados mensais do potencial de eco-condução.

POTENCIAL ECO-CONDUÇÃO (mensal)						
Consumo médio (l/100 km)	Consumo total (l)	Quilometragem mensal (km)	Poupança combustível (l)	Poupança custos de combustível (€)	Custo de formação (€)	Poupança mensal (€)
27,7	306.370	1.105.174	21.240	30.883	3.172	27.711

Aplicando estratégias de eco-condução é possível concluir que existe um decréscimo de 6,5% de combustível consumido. A adoção de medidas de eco-condução é considerada uma boa estratégia para diminuição do impacto energético, ainda que tenha um impacto inferior à renovação da frota.

Por último, foi calculado o tempo de retorno do investimento. Visto que os custos de formação são muito inferiores à poupança mensal relativa ao potencial de eco-condução, é de esperar que o tempo de retorno do investimento seja de apenas 1 mês.

Após analisado o potencial de eco-condução, rapidamente se conclui que o tempo de retorno do investimento é muito inferior ao tempo de retorno do investimento da renovação da frota. Assim, é

possível concluir que a eco-condução constitui uma boa medida de impacto energético e económico e que deve ser adotada.

4.6. Resultados da formação

Foi também estudado se a formação dos condutores é benéfica a curto prazo e a longo prazo. Para a situação de curto prazo, foi recolhido o dia em que cada condutor teve formação e analisados os dados dos 15 dias anteriores e posteriores à data da formação. A Tabela 14 (dados pré-formação) e a Tabela 15 (dados pós-formação) mostram os dados obtidos das viagens, bem como o período de recolha de dados. Analisados os dados das tabelas, é possível reparar que em todos os condutores existe uma melhoria no consumo de combustível e um aumento de velocidade média nos 15 dias pós-formação. Assim, conclui-se que a formação dos condutores é benéfica a curto prazo, para a amostra considerada.

Tabela 14 - Dados relativos a uma situação pré-formação.

Pré-formação						
Veículo	Data da formação	Período de recolha de dados	Velocidade média (km/h)	Consumo médio (l/100 km)	Consumo total (l)	Quilometragem (km)
1	21 e 22 maio 2020	06-05 a 20-05 2020	72,6	31,4	1.602	5.100
2	3 abril 2020	19-03 a 02-04 2020	49,6	37,7	620	1.644
3	8 e 9 junho 2020	23-04 a 07-05 2020	70,3	29,4	962	3.274

Tabela 15 - Dados relativos a uma situação pós-formação.

Pós-formação						
Veículo	Data da formação	Período de recolha de dados	Velocidade média (km/h)	Consumo médio (l/100 km)	Consumo total (L)	Quilometragem (km)
1	21 e 22 maio 2020	23-05 a 06-06 2020	72,2	29,5	1.668	5.648
2	3 abril 2020	4-18 abril 2020	50,9	32,0	511	1.598
3	8 e 9 junho 2020	10-24 junho 2020	72,6	25,6	1.542	6.017

Foi também analisada a situação de melhoria contínua, em que se analisa se a eco-condução é benéfica a longo prazo. A Tabela 16 mostra os resultados obtidos para os 15 dias posteriores à entrada dos condutores na empresa e a Tabela 17 mostra os dados após um mês da formação.

Tabela 16 - Dados de melhoria contínua (situação em que o condutor entrou na empresa).

Melhoria contínua						
Quando o condutor entrou						
Veículo	Data da formação (entrada na empresa)	Período de recolha de dados	Velocidade média (km/h)	Consumo médio (l/100 km)	Consumo total (l)	Quilometragem (km)
1	29/05/2020	30-05 a 13-06 2020	77,1	26,0	1.324	5.092
2	14/05/2020	15-29 maio 2020	50,9	28,4	715	2.515

Tabela 17 - Dados de melhoria contínua (após 1 mês do condutor ter entrado na empresa).

Melhoria contínua						
Mais recente						
Veículo	Data da formação (entrada na empresa)	Período de recolha de dados	Velocidade média (km/h)	Consumo médio (l/100 km)	Consumo total (L)	Quilometragem (km)
1	29/05/2020	22-06 a 06-07 2020	78,9	26,0	1.756	6.744
2	14/05/2020	22-06 a 06-07 2020	49,4	31,5	551	1.748

Comparando as tabelas Tabela 16 e Tabela 17 é possível concluir que o condutor do veículo 1 beneficiou com a formação (o consumo médio por 100 km percorridos mantém-se). Ainda que tenha obtido 26,0 l/100 km nas duas situações, é de notar que na situação mais recente, de 22 de junho a 6 de julho, o veículo deslocou-se mais depressa, o que aumenta o consumo do veículo. O condutor do veículo 2 piorou claramente o seu desempenho, uma vez que o seu consumo por 100 km percorridos aumentou consideravelmente e a velocidade com que o veículo se deslocou baixou de valor. Após analisar os efeitos de eco-condução a longo prazo, é importante salientar que a formação dos condutores deve ser contínua, uma vez que os condutores podem piorar os seus consumos ao longo do tempo na ausência de formação.

Relativamente aos dados da formação, é importante referir que o número de condutores analisados é muito baixo. No entanto, face às limitações que a pandemia de COVID-19 gerou, foi difícil encontrar mais condutores que tiveram formação.

4.7. Adoção de tecnologias de veículos alternativas

Após a simulação dos diferentes veículos no software *FASTSim*, foram obtidos os consumos médios de cada veículo, bem como a distância percorrida e, no caso do veículo elétrico e a pilha de combustível, o SOC (do inglês “*state of charge*”, que em português se traduz para “estado de carga”). O SOC é um indicador da quantidade de bateria restante nos veículos elétricos e a pilha de combustível. Os resultados de cada tecnologia são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Resultados do *FASTSim*.

Tipo de viatura	Consumo médio	Distância percorrida	SOC
ICEV	37,6 l/100 km	226 km	-
BEV	0,875 kWh/km	226 km	71,0%
FC	0,0758 kg H ₂ /km	226 km	46,5%

A viatura a gasóleo convencional apresenta um consumo médio ligeiramente mais elevado (37,63 l/100 km) do que o consumo médio real medido após a viagem (34,5 l/100 km), o que corresponde a um erro relativo de 9%. Um dos fatores que influencia o consumo dos veículos é a massa da carga que o veículo transporta. Aquando da medição do ciclo de velocidade, a carga não foi pesada na empresa, pelo que não se sabe o valor real da massa da mercadoria transportada. Foi utilizado o valor de 18.000 kg como massa da carga, pois é o máximo de massa de carga que o veículo elétrico foi concebido para transportar, o que afeta a comparação de resultados. No entanto, considera-se um desvio aceitável e o valor dado pelo *FASTSim* está dentro dos valores reais de consumo médio dos veículos pesados de mercadorias.

O resultado do consumo médio do veículo a pilha de combustível encontra-se muito próximo dos valores de certificação do fabricante. Os valores de certificação do fabricante estimam um consumo de 0,08 kg/km, o que corresponde a um erro percentual de 5,3% entre os resultados. O SOC tem um valor de 46,5% após a viagem, sem ser necessário recarregar a bateria auxiliar presente. Esta é uma das vantagens do veículo a pilha de combustível face ao veículo elétrico, visto que o segundo necessitou de recarregar a bateria a meio do percurso.

O SOC da bateria do veículo a pilha de combustível apresenta diferenças face ao SOC da bateria do veículo elétrico. Enquanto que o veículo elétrico extrai eletricidade da bateria e esta tem de ser recarregada a meio da viagem para o veículo se continuar a deslocar, o mesmo não acontece com o veículo a pilha de combustível. O veículo a pilha de combustível consegue produzir energia elétrica a partir de uma pilha de combustível alimentada a hidrogénio. Assim, o motor deste veículo recebe energia elétrica da bateria e da pilha de combustível. A quantidade de energia armazenada a bordo é determinada pelo tamanho do tanque de combustível de hidrogénio. O SOC do veículo a pilha de combustível na Tabela 18 é interpretado de maneira diferente do SOC do veículo elétrico. No veículo elétrico, o SOC é contabilizado desde 100% até 20% (altura em que se tem de recarregar a bateria). No veículo a pilha de combustível, o SOC indica o estado de carga da bateria, mas é possível utilizar a energia elétrica da pilha de combustível para aumentar o valor do SOC.

O *FASTSim* dá também a velocidade por segundo do ciclo, bem como a percentagem de SOC e compara o veículo simulado com o veículo real, como é possível de se observar na Figura 31. Para o veículo a pilha de combustível, foi obtido o gráfico da Figura 31 para um dos ciclos. Como é possível observar, considera-se que o veículo foi bem simulado e os dados são fiáveis, uma vez que existe total sobreposição da linha azul (velocidade do ciclo) e da linha verde (velocidade atingida pelo veículo simulado). É importante referir que na imagem a velocidade não começa em zero, pois os diferentes ciclos tiveram de ser repartidos em ciclos menores para o programa conseguir correr e obter os dados necessários. Analisando a linha a preto, que representa o SOC, é possível observar que existe pouca variação do SOC até o momento perto dos 1500 segundos. No entanto, quando existe diminuição da velocidade, o SOC aumenta o seu valor e diminui logo a seguir. A diminuição de velocidade entre os 1400 e os 1500 segundos corresponde a um momento de travagem do veículo. Os veículos a pilha de combustível conseguem converter a energia cinética do momento de travagem em energia elétrica e armazená-la na bateria para uso posterior, daí o aumento de SOC. Após os 1500 segundos, o veículo aumenta a velocidade e o SOC diminui ligeiramente.

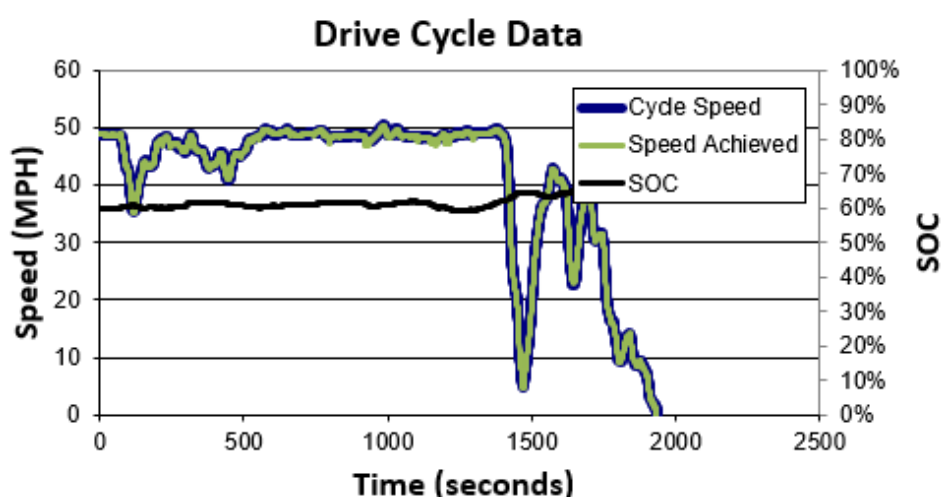


Figura 31 – Resultado obtido pelo *FASTSim* na simulação do veículo a pilha de combustível.

Por último, o veículo elétrico deu um resultado de consumo médio também satisfatório. O SOC do veículo elétrico que surge na Tabela 18 é relativo ao fim da viagem. O veículo elétrico necessitou de

ser recarregado a meio do percurso. Isto constitui uma desvantagem face à viatura convencional e à viatura a pilha de combustível, que tem maior autonomia. É esperado que o recarregamento do veículo elétrico dure 2 horas. No final da viagem completa, o SOC é 71%.

Visto que o veículo tem de ser recarregado, é importante reformular a rota dos veículos elétricos, de modo a que encontrem um posto de abastecimento. A Figura 32 mostra a localização dos 195 postos de abastecimento de carregamento rápido em Portugal. Existem vários postos de carregamento rápido na zona metropolitana de Lisboa, onde se situa uma das bases operacionais da empresa. A Figura 33 mostra com detalhe a localização dos postos de carregamento rápido na zona metropolitana de Lisboa.

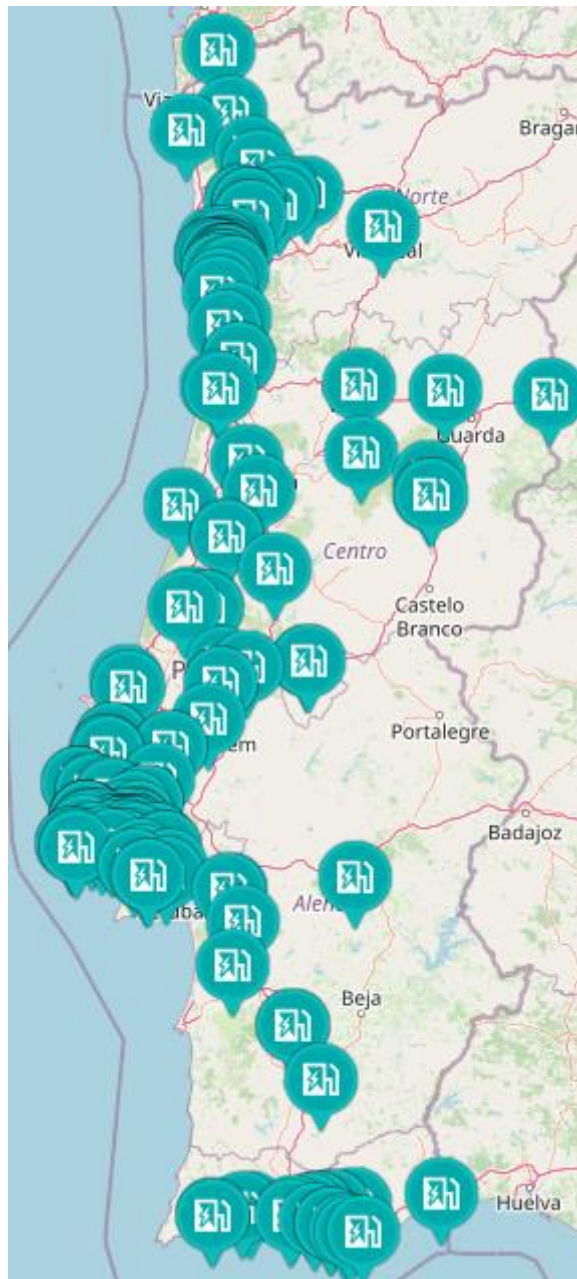


Figura 32 - Localização dos postos de carregamento rápidos em Portugal continental (Fonte: [42]).

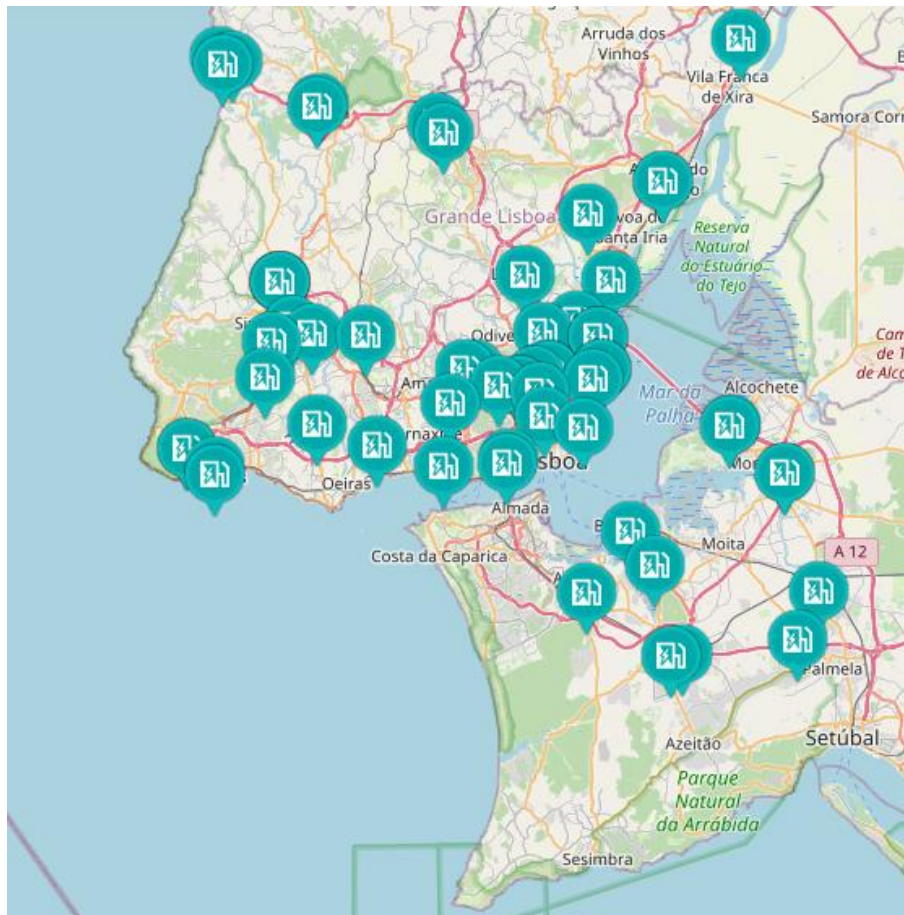


Figura 33 - Localização dos postos de carregamento rápido na zona metropolitana de Lisboa (Fonte: [42]).

Caso a frota fosse totalmente substituída por veículos elétricos, seria impossível recarregar a bateria dos 186 veículos e tê-los todos operacionais apenas utilizando os postos de carregamento rápido que se encontram no mapa das figuras Figura 32 e Figura 33. Para carregar os veículos, a empresa poderia ter de adquirir postos de abastecimento elétrico e carregar as suas viaturas na base operacional do Seixal. Um posto de carregamento de viaturas elétricas teria um custo de aquisição de 364.000€ e despesas operacionais anuais de 3.640€. Cada viatura seria carregada em duas horas. O posto considerado tem 1,2 MW de potência e pode carregar até 20 viaturas por dia [70]. O valor do posto de carregamento poderia ter sido incluído na TCO.

Relativamente à análise de *Total Cost of Ownership* (TCO) foram apresentados os resultados graficamente que mostram a situação de custos anuais para a empresa para cada tecnologia. Para as tecnologias mais recentes, são apresentados os resultados para 2020 e para 2030, de modo a poder comparar a evolução das tecnologias. A Figura 34 mostra os custos associados a cada viatura, separados por categoria. É importante referir que o preço residual aparece na Figura 34 como sendo um valor positivo, no entanto, o valor abate sobre o custo total do veículo. Neste caso, quanto maior o preço residual que aparece na Figura 34 maior o valor que a empresa poderá reaver.

TCO

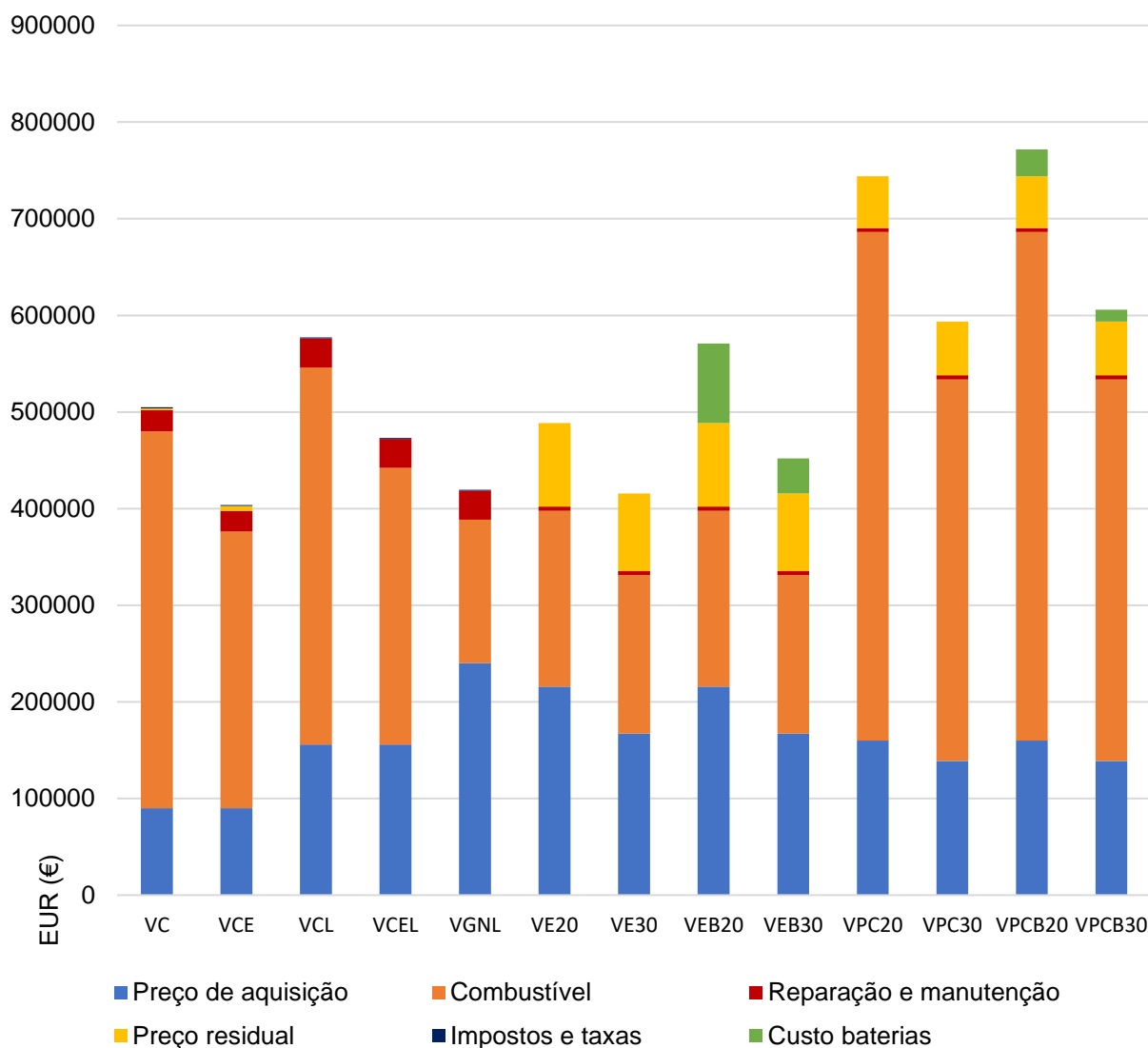


Figura 34 – Análise *Total Cost of Ownership*.

Analisando a Figura 34 as viaturas elétricas são uma opção mais económica do que uma viatura convencional (seja em regime de *leasing* ou própria da empresa), o que aparenta ser uma boa solução para a adoção destas viaturas na renovação da frota. A introdução de veículos elétricos equivale a uma poupança de custo de combustível de 53% face a uma viatura convencional da empresa e equivale a uma poupança anual total de 18.499€ por viatura. O tempo de retorno do investimento da renovação das 186 viaturas da frota por viaturas elétricas (considerando os custos do posto de recarregamento rápido) são, aproximadamente, 2 anos. Renovar totalmente a frota com viaturas elétricas tem um tempo de retorno do investimento muito inferior a renovar a frota com viaturas eficientes a gasóleo, como se pode constatar no subcapítulo 4.4. Mesmo quando é necessário haver substituição de bateria na viatura elétrica (VEB20), a viatura elétrica continua a ser mais económica que uma viatura convencional a gasóleo (VC) e ligeiramente mais cara que uma viatura convencional mais eficiente (VCE).

Considerando o aumento de vendas de viaturas com novas tecnologias no ano 2030, é possível concluir que, mesmo quando é necessário haver substituição de bateria (VEB30), as viaturas elétricas continuam a ser mais económicas que as viaturas a gásóleo convencionais em 2020.

Atualmente, as viaturas a pilha de combustível (FC) são a tecnologia mais dispendiosa, principalmente por causa dos custos atuais do hidrogénio. Uma vez que as viaturas a pilha de combustível são relativamente recentes e apenas há uns meses se começaram a distribuir viaturas pesadas de mercadorias com este tipo de tecnologia [65], é esperado que os custos sejam mais elevados, porque falta implementar toda a infraestrutura de abastecimento. Os veículos a pilhas de combustível poderão ser extremamente competitivos e com poucas emissões, se o custo do hidrogénio nos próximos anos se situar entre os 3 e os 5 €/kg. As viaturas a pilha de combustível são mais caras que as viaturas elétricas, no entanto, não devem ser descartadas, pois apresentam algumas vantagens relativamente às mesmas: têm maior autonomia e tempos de carregamento de bateria menores, sendo mais parecidas no tempo de carregamento com os veículos a diesel. Em 2030, tanto a viatura a pilha de combustível que não necessita de substituição de bateria (VPC30) como a viatura que necessita de substituição de bateria (VPCB30) são opções mais económicas que uma viatura a gásóleo convencional (VC).

Por último, foram apresentados os resultados da TCO na Tabela 19. É possível concluir que a tecnologia mais económica será a viatura elétrica sem substituição de bateria. Os veículos convencionais a gásóleo são sempre mais caros que as viaturas elétricas, mesmo quando as viaturas elétricas necessitam de substituição de bateria, o que é economicamente interessante para a situação de renovação de frota. As viaturas eficientes a gásóleo (VCE) são as segundas com custos mais baixos em 2020, o que demonstra a importância de adoção de medidas de eco-condução. A viatura a GNL, mesmo em situação de *leasing*, é também uma das opções mais interessantes para a renovação da frota em 2020, sendo a terceira mais económica.

Tabela 19 - Dados dos custos anuais da análise TCO.

Tipo de viatura	Custos totais (€)	€/km
VC	500.791	0,70
VCE	393.850	0,55
VCL	577.191	0,81
VCEL	473.250	0,66
VGNL	419.623	0,59
VE20	315.798	0,44
VE30	255.103	0,36
VEB20	398.145	0,56
VEB30	291.381	0,41
VPC20	636.949	0,89
VPC30	482.377	0,68
VPCB20	664.727	0,93
VPCB30	494.615	0,69

4.8. Impacto da pandemia de COVID-19

Após a análise realizada para o primeiro semestre de 2019 e o primeiro semestre de 2020, foi realizada a Tabela 20. É possível afirmar que existiu uma diferença de 496.991 km entre a situação de pré-pandemia e a situação de pandemia. Ou seja, em 2020 os veículos da empresa deslocaram-se menos 496.991 km do que se deslocaram numa situação normal em 2019. A diferença notória de quilómetros percorridos pelos veículos é devida à limitação da circulação internacional dos veículos pesados de mercadorias, bem como à diminuição de volume de entregas e ao confinamento de alguns condutores.

De igual modo, foi estudada a diferença de consumo total dos veículos da empresa entre a situação do primeiro semestre de 2019 e o primeiro semestre de 2020. A diferença de litros que os veículos da empresa consumiram foi 162.047 L. Esta diferença está diretamente relacionada com o facto de os veículos se deslocarem menos, como referido anteriormente.

Tabela 20 - Diferença de consumo total e de quilometragem entre o 1º semestre de 2019 e o de 2020.

	CONSUMO TOTAL (l)	QUILOMETRAGEM (km)
	Diferença (2020-2019)	Diferença (2020-2019)
Janeiro	8.511	15.784
Fevereiro	-24.865	-71.785
Março	-17.710	-78.933
Abril	-32.082	-103.606
Maio	-88.359	-267.769
Junho	-7.542	9.318
TOTAL	-162.047	-496.991

Analisando agora a diferença de custos em combustível, é possível afirmar que a empresa teve um decréscimo de custos em combustível de 235.616€. A Tabela 21 mostra a diferença, em euros dos custos de combustível por cada mês. Estes custos de combustível foram calculados com o preço do gasóleo a 1,454€/L (contemplando já o IVA) que é a média do preço do gasóleo adquirido pela empresa no primeiro semestre de 2020. Esta diferença de custos de combustível indica que a empresa, num cenário de pré-pandemia, gastou mais 235.616€ em combustível face ao primeiro semestre de 2020. Esta poupança, no entanto, não reporta uma situação positiva. Esta diferença de custos de combustível existe porque os veículos deslocaram-se menos (menor quilometragem), logo o consumo de combustível é inferior, bem como os custos do mesmo. Assim, esta diferença mostra o potencial transporte de mercadorias que a empresa poderia ter realizado neste primeiro semestre de 2020 se não existisse pandemia de COVID-19.

Tabela 21 - Diferença de custos de combustível entre o 1º semestre de 2019 e o de 2020.

CUSTOS DE COMBUSTÍVEL	
	Diferença (2020-2019)
Janeiro	12.374 €
Fevereiro	- 36.154 €
Março	- 25.751 €
Abril	- 46.647 €
Maio	- 128.474 €
Junho	- 10.966 €
TOTAL	- 235.616 €

Após o primeiro semestre de 2020, a empresa retomou a sua atividade normal lentamente. É possível observar na Tabela 20 que em junho a empresa já fez mais 9.318 quilômetros face a 2019 e a diferença de consumo de combustível foi muito menor. A empresa começou a ter novamente maior volume de transporte de mercadorias. No entanto, a situação de retoma teve ainda alguns percalços, visto que nem todos os condutores estavam aptos para conduzir porque alguns dos condutores tinham de fazer quarentena.

5. Conclusão e trabalho futuro

A presente dissertação tinha como objetivo avaliar o impacto energético e económico da aplicação de medidas de eficiência energética na frota da empresa com o intuito de diminuir o consumo energético da mesma, bem como o seu impacto ambiental. Foi também analisada a possibilidade de aquisição de veículos de diferentes tecnologias de modo a ir de encontro ao objetivo anteriormente mencionado e feita a sua análise económica.

É possível retirar as seguintes conclusões do trabalho:

- Após a análise da caracterização da frota, foi identificado o modelo que tem maior consumo energético e o modelo que tem menor consumo energético. O modelo que tem maior consumo energético é o modelo Premium 450 DXI e o modelo que tem menor consumo energético é o modelo R 410, sendo este o mais eficiente;
- O potencial de renovação da frota demonstra que trocar as viaturas atuais por veículos Euro 6 leva a um decréscimo de 11% do consumo de combustível. Considera-se assim uma medida com elevado impacto energético e económico;
- A existência de formação e a aplicação de medidas de eco-condução ajuda a diminuir o consumo de combustível em cerca de 6,5% sem existir a necessidade de substituição dos veículos da frota. No entanto, é necessário existir uma formação contínua de modo a não se perder os bons hábitos de eco-condução. É também um projeto que tem um tempo de retorno do investimento muito baixo. Considera-se assim a eco-condução e a formação medidas importantes para a diminuição do impacto energético e económico;
- Após a análise TCO, é possível afirmar que na atualidade o veículo elétrico é a tecnologia mais económica. A renovação total da frota com recurso a viaturas elétricas tem um tempo de retorno do investimento de 2 anos. Cada viatura elétrica poupa 18.499€ anualmente face a uma viatura convencional a gasóleo e tem uma diminuição de custos de combustível de 53%.
- As viaturas a pilha de combustível não são ainda a opção mais interessante do ponto de vista económico, mas têm a vantagem de ter maior autonomia e carregamento mais rápido que os veículos elétricos. Estima-se que num futuro próximo quando o custo do hidrogénio se situe entre 3 e 5 €/kg, este tipo de veículos poderá apresentar grandes vantagens económicas com ambientais para o transporte de mercadorias mundial.

Considera-se que a utilização do software *FASTSim* foi uma mais-valia na projeção e simulação dos consumos energéticos dos veículos e que os resultados obtidos foram aceitáveis.

Para a empresa *Transportes Gama*, recomenda-se a adoção das seguintes medidas:

- Renovação da frota ao longo do tempo, com maior recurso a viaturas de novas tecnologias (viaturas GNL ou viaturas elétricas) e renovação das viaturas que transportam mercadorias perigosas com viaturas de norma Euro 6;
- Aplicação de estratégias de eco-condução com maior frequência (a formação dos condutores deve ser dada mais do que uma vez por ano).

Após o desenvolvimento da presente dissertação, são sugeridos alguns tópicos de possíveis análises futuras:

- Análise às emissões de gases poluentes dos veículos: Seria interessante estudar o impacto ambiental das viaturas e analisar a diferença da quantidade de emissões entre os veículos convencionais a gasóleo e a GNL face aos veículos elétricos e a pilha de combustível assim como uma análise de sensibilidade ao custo do hidrogénio no contexto de veículos com pilha de combustível;
- Comparação de viaturas híbridas com as restantes viaturas: As viaturas híbridas já estão presentes no mercado e seria interessante comparar as viaturas híbridas (viaturas com propulsão elétrica e motor de combustão) com as restantes viaturas e analisar como é que estas viaturas se comportam e quais os resultados das análises energéticas e económicas;
- Estudar maiores situações de condução: Seria oportuno analisar situações de condução noturna e situações de condução em serviço internacional e perceber o impacto destas situações no consumo das viaturas e
- Maior número de condutores e viaturas da amostra: Seria interessante poder analisar uma maior amostra de condutores e estudar a influência que os mesmos têm no consumo das viaturas. Aumentar o número de viagens e de ciclos de condução também poderia ser interessante de forma a estimar melhor os consumos e o grau de confiança dos resultados.

6. Bibliografia

- [1] “Renewables - World Energy Outlook 2019 - Analysis - IEA,” [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019/renewables>. [Acedido em 22 Outubro 2020].
- [2] EUROSTAT, “Energy, transport and environment statistics,” [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/10165279/KS-DK-19-001-EN-N.pdf/76651a29-b817-eed4-f9f2-92bf692e1ed9>. [Acedido em 15 Maio 2020].
- [3] T. Zachariadis, L. Ntziachristos e Z. Samaras, “The effect of age and technological change on motor vehicle emissions,” Maio 2001.
- [4] J. Díaz-Ramirez, N. Giraldo-Peralta, D. Flórez-Ceron, V. Rangel, C. Mejía-Argueta, J. Ignacio Huertas e M. Bernal, “Eco-driving key factors that influence fuel consumption in heavy-truck fleets: A Colombian case,” *Transportation Research Part D*, nº 56, pp. 258-270, 2017.
- [5] K. Boriboonsomsin, “Reducing the Carbon Footprint of Freight Movement Through Eco-Driving Programs for Heavy-Duty Trucks,” Junho 2015.
- [6] A. Valadas de Lima e L. Schmidt, “Questões ambientais - conhecimentos, preocupações e sensibilidades,” *Análise Social*, vol. XXXI, nº 135, pp. 205-227, 1996.
- [7] “Combater as alterações climáticas,” Fichas técnicas sobre a União Europeia, 2020. [Online]. Available: https://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/pt/FTU_2.5.2.pdf. [Acedido em Maio 2020].
- [8] Technologies and Approaches to Reducing the Fuel Consumption of Medium- and Heavy-Duty Vehicles, Washington, DC: The National Academies Press, 2010.
- [9] M. D. Jackson, “Technologies to Improve Fuel Efficiency,” TIAX LLC, 10 Novembro 2011. [Online]. Available: https://theicct.org/sites/default/files/HDV_Workshop_10Nov2011_TIAX.pdf. [Acedido em Maio 2020].
- [10] H. Zhao, A. Burke e M. Miller, “Analysis of Class 8 truck technologies for their fuel savings and economics,” *Transportation Research Part D*, nº 23, pp. 55-63, 2013.
- [11] H. Chowdhurya, B. Loganathana, I. Mustarya, H. Moriab e F. Alama, “Effect of various deflectors on drag reduction for trucks,” *Energy Procedia* 110, pp. 561-566, 2017.
- [12] R. Wood, W. Seay e J. Bledsoe, “Understanding Practical Limits to Heavy Truck Drag Reduction,” 2009.
- [13] Z. Mohamed-Kassim e A. Filippone, “Fuel savings on a heavy vehicle via aerodynamic drag reduction,” *Transportation Research Part D*, nº 15, pp. 275-284, 2010.
- [14] B. Geun Hwang, S. Lee, E. Jae Lee, J. Jae Kim e M. Kim, “Reduction of drag in heavy vehicles with two different types of advanced side skirts,” *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, nº 155, pp. 36-46, 2016.

- [15] Z. Gao, D. E. Smith, C. Stuart Daw, K. Dean Edwards, B. C. Kaul e N. Domingo, "The evaluation of developing vehicle technologies on the fuel economy of long-haul trucks," *Energy Conversion and Management*, nº 106, pp. 766-781, 2015.
- [16] C. Brodrick, T. E. Lipman, M. Farshchi, N. P. Lutsey, H. A. Dwyer, D. Sperling, S. W. Gouse, D. B. Harris e F. G. King Jr, "Evaluation of fuel cell auxiliary power units for heavy-duty diesel trucks," *Transportation Research Part D*, nº 7, pp. 303-315, 2002.
- [17] N. Nicholas Lutsey, C. Brodrick, D. Sperling e C. Oglesby, "Heavy-Duty Truck Idling Characteristics," 2004.
- [18] K. Çagri, T. Bekta, O. Jabali e G. Laporte, "A comparison of three idling options in long-haul truck scheduling," *Transportation Research Part B*, nº 93, pp. 631-647, 2016.
- [19] E. o. f. c. a. p. u. f. h.-d. d. trucks, "Brodrick, C.; E. Lipman, T.; Farshchi, M.; P. Lutsey, N.; A. Dwyer, H.; Sperling, D.; Gouse III, S. W.; Harris, D; King Jr, F.," 2002.
- [20] "The Predictive Cruise Control – A System to Reduce Fuel Consumption of Heavy Duty Trucks," *SAE Technical paper series*, 2004.
- [21] T. Ivens, "Predictive Cruise Control for Heavy Duty Vehicles," 2010.
- [22] B. Asadi e A. Vahidi, "Predictive Use of Traffic Signal State for Fuel Saving," 2009.
- [23] I. TIAX, "Assessment of fuel economy technologies for medium- and heavy-duty vehicles," em *Final Report to the National Academy of Sciences*, Lexington, MA, 2009.
- [24] S. Bennet, "Smart routing to save fuel," *Light & Medium Truck Magazine*, 2008.
- [25] G. Boskovic, M. Despotovic, N. Jovicic, G. Vujic, G. Jovicic, D. Milovanovic e D. Gordic, "Route optimization to increase energy efficiency and reduce fuel consumption of communal vehicles," *Thermal Science*, nº 14, pp. 67-78, Janeiro 2011.
- [26] Z. Gao, T. LaClair, C. Daw e D. Smith, "Simulations of the Fuel Economy and Emissions of Hybrid Transit Buses over Planned Local Routes," 2014.
- [27] Z. Gao, C. Daw e D. Smith, "Comparative Urban Drive Cycle Simulations of Light-Duty Hybrid Vehicles with Gasoline or Diesel Engines and Emissions Controls," 2013.
- [28] Z. Gao, T. J. LaClair, D. Smith e C. S. Daw, "Exploring Fuel-Saving Potential of Long-Haul Truck Hybridization," 2015.
- [29] L. Johannesson, N. Murgovski, E. Jonasson, J. Hellgren e B. Egardt, *Predictive energy management of hybrid long-haul trucks*, 24 Abril 2015.
- [30] "Hybrid Technology and Engine Oil," Mobil, [Online]. Available: <https://www.mobil.com/en/lubricants/about-us/mobil-1/mobil-1-modern-engines/hybrid-technology-and-engine-oil>. [Acedido em 1 Setembro 2020].
- [31] C. Xu, G. Kunfang e F. Yang, "A Comparative study of Different Hybrid Electric Powertrain Architectures for Heavy-Duty Truck," 2018.

- [32] S. B. e S. C. Subramanian, "Optimized Design and Analysis of a Series-Parallel Hybrid Electric Vehicle Powertrain for a Heavy Duty Truck," 2018.
- [33] R. Vijayagopal e A. Rousseau, "Benefits of Electrified Powertrains in Medium- and Heavy-Duty Vehicles," 18 Janeiro 2020.
- [34] H. Zhao, A. Burke e L. Zhu, "Analysis of Class 8 Hybrid-Electric Truck Technologies Using Diesel, LNG, Electricity, and Hydrogen, as the Fuel for Various Applications," 2013.
- [35] T. J. C. P. M. Z. G. B. Mulholland E., "The long haul towards decarbonising road freight – a global assessment to 2050," 2018.
- [36] ITF, "ITF transport outlook 2017," 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1787/9789282108000-en>. [Acedido em 2 Setembro 2020].
- [37] A. S. K. F. P. J. den Boer E., "Zero emissions trucks: an overview of state-of-the-art technologies and their potential," 2013.
- [38] I. Mareev, J. Becker e D. U. Sauwe, "Battery dimensioning and life cycle costs analysis for a heavy-duty truck considering the requirements of long-haul transportation.," 2018.
- [39] T. & Environment, "Electric trucks' contribution to freight decarbonisation," 2017. [Online]. Available: https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2017_09_Update_Norway_study_final.pdf. [Acedido em 2 Setembro 2020].
- [40] T. Earl, L. Mathieu, S. C., S. K., C. A. Calvo e N. J., "Analysis of long haul battery electric trucks in EU," *Marketplace and technology, economic, environmental, and policy perspectives.*, 2018.
- [41] B. Sen, T. E. e O. Tatari, "Does a battery-electric truck make a difference? - Life cycle emissions, costs, and externality analysis of alternative fuel-powered Class 8 heavy-duty trucks in the United States," 2017.
- [42] "MOBI.E," [Online]. Available: <https://www.mobie.pt/map>. [Acedido em 29 Outubro 2020].
- [43] M. El Hannach, P. Ahmadi, L. Guzman, S. Pickup e E. Kjeang, "Life cycle assessment of hydrogen and diesel dual-fuel class 8 heavy duty trucks," 2019.
- [44] J. Kast, G. Morrison, J. J. Gangloff Jr., R. Vijayagopal e J. Marcinkoski, "Designing hydrogen fuel cell electric trucks in a diverse medium and heavy duty market," 2017.
- [45] J. Kast, R. Vijayagopal, J. J. Gangloff Jr., Marcinkoski e J., "Clean commercial transportation: Medium and heavy duty fuel cell electric trucks," 2017.
- [46] D. Lee, A. Elgowainy, A. Kotz e R. Vijayagopal, "Life-Cycle Implications of Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicle Technology for Medium- and Heavy-Duty Trucks," Energy Systems Division, Argonne National Laboratory, [Online]. Available: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1455116>. [Acedido em 23 Dezembro 2020].

- [47] A. F. D. Center, "Alternative Fuels Data Center: Fuel Cell Electric Vehicle Emissions," [Online]. Available: https://afdc.energy.gov/vehicles/emissions_hydrogen.html. [Acedido em 23 Dezembro 2020].
- [48] J. Díaz-Ramireza, N. Giraldo-Peraltab, D. Flórez-Ceronb, V. Rangel, C. I. H. J. Mejía-Argueta e M. Bernale, "Eco-driving key factors that influence fuel consumption in heavytruck fleets: A Colombian case," 2017.
- [49] H. Stromberg e I. Karlsson, "Comparative effects of eco-driving initiatives aimed at urban bus drivers – Results from a field trial," 2013.
- [50] P. Delhomme, Cristea, M. e F. Paran, "Self-reported frequency and perceived difficulty of adopting eco-friendly driving behavior according to gender, age, and environmental concern," 2013.
- [51] P. Barla, M. Gilbert-Gonthier, M. Antonio Lopez Castro e L. Miranda-Moreno, "Eco-driving training and fuel consumption: Impact, heterogeneity and sustainability," 2017.
- [52] K. V. A. B. M. Boriboonsomsin, "Eco-Driving: pilot evaluation of driving behavior changes among U.S. drivers," 2010.
- [53] X. L. D. P. Z. Yang, "Effects of Eco-driving on Driving Performance," pp. 178-181, 2012.
- [54] S. Shaheen, E. Martin e R. Finson, "Understanding how Eco-Driving public education can result in reduced fuel use and greenhouse gas emissions," 2011.
- [55] M. S. Alam e A. McNabola, "A critical review and assessment of Eco-Driving policy & technology: Benefits & limitations," 2014.
- [56] B. Holland, "The Soft Benefits of Truck Fleet Upgrades," CFO, 22 Janeiro 2020. [Online]. Available: <https://www.cfo.com/operations/2020/01/the-soft-benefits-of-truck-fleet-upgrades/>. [Acedido em 23 Dezembro 2020].
- [57] F. Rodriguez, "Commercial fleet renewal programs as a response to the COVID-19 crisis in the European Union," Internation Council on clean transportation, Agosto 2020. [Online]. Available: <https://theicct.org/sites/default/files/publications/Commercial-vehicle%20replacement-aug2020.pdf>. [Acedido em 23 Dezembro 2020].
- [58] F. Dünnebeil e U. Lambrecht, "Fuel efficiency and emissions of trucks in Germany," [Online]. Available: <http://transferproject.org/wp-content/uploads/2014/04/IFEU-2011-HDV-emissions-in-Germany.pdf>. [Acedido em 23 Dezembro 2020].
- [59] K. Weller, S. Lipp, M. Rock, C. Matzer, A. Bittermann e S. Hausberger, "Real World Fuel Consumption and Emissions From LDVs and HDVs," Frontiers, 31 Julho 2019. [Online]. Available: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmech.2019.00045/full>. [Acedido em 28 Dezembro 2020].
- [60] "O que são as normas Euro de controlo de emissões?," 2019. [Online]. Available: <https://volantesic.pt/detalhes-noticia/2019-11-26-o-que-sao-as-normas-euro-de-controlo-de-emissoes-/?ID=15746788>. [Acedido em 30 12 Dezembro].

- [61] J. Hagman, S. Ritzén, J. J. e Y. Susilo, "Total cost of ownership and its potential implications for battery electric vehicle diffusion," 22 January 2016.
- [62] PwC, "Truck Study 2020 | Strategy& Germany," PwC, Setembro 2020. [Online]. Available: <https://www.strategyand.pwc.com/de/de/studien/2020/green-trucking/truck-study-2020.pdf>. [Acedido em 23 Dezembro 2020].
- [63] Deloitte, "Fueling the Future of Mobility," [Online]. Available: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cn/Documents/finance/deloitte-cn-fueling-the-future-of-mobility-en-200101.pdf>. [Acedido em 23 Dezembro 2020].
- [64] "EUR-Lex - 32009R - EN - EUR - Lex," [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=celex%3A32009R0595>. [Acedido em 28 Outubro 2020].
- [65] R. Staff, "Hyundai delivers first fuel cell trucks to Switzerland," 7 Outubro 2020. [Online]. Available: <https://www.reuters.com/article/hyundai-switzerland-hydrogen-trucks-idUSKBN26S1FM>. [Acedido em 29 Outubro 2020].
- [66] BYD, "T9SJ," [Online]. [Acedido em 20 Novembro 2020].
- [67] A. Franca, "Electricity consumption and battery lifespan estimation for transit electric buses: drivetrain simulations and electrochemical modelling," 2015. [Online]. Available: https://www.uvic.ca/research/centres/iesvic/assets/docs/dissertations/Dissertation_Franca.pdf. [Acedido em 2 Dezembro 2020].
- [68] "BU-1003a: Battery Aging in an Electric Vehicle (EV)," 22 Agosto 2020. [Online]. Available: https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_1003a_battery_aging_in_an_electric_vehicle_ev. [Acedido em 1 Dezembro 2020].
- [69] Hyundai, "XCIENT Fuel Cell," 2020.
- [70] "Comparison of hydrogen and battery electric trucks," *Methodology and underlying assumptions*, Junho 2020.
- [71] M. Mahmoud, R. Garnett, M. Ferguson e P. Kanaroglou, "Electric buses: A review of alternative powertrains," 2016.
- [72] "Lista de tarifas de operação do Posto de Carregamento Rápido," EDP, [Online]. Available: <https://helpcenter.edp.pt/media/2002/lista-tarifa-opc-pcr.pdf>. [Acedido em 29 11 2020].
- [73] ING, "Future residual values of battery electric vehicles benefit from increased range," Junho 2019. [Online]. Available: <https://www.ingwb.com/media/2937783/future-residual-values-of-battery-electric-vehicles-benefit-from-increased-range-report-06-2019.pdf>. [Acedido em 28 Novembro 2020].
- [74] "Cost to Refill | California Fuel Cell partnership," [Online]. Available: <https://cafcp.org/content/cost-refill>. [Acedido em 30 Novembro 2020].
- [75] R. Vijayagopal, K. Sim, N. Kim e A. Rousseau, "Sizing a Fuel Cell Powered Truck : Minimizing Ownership Cost," Argonne National Laboratory, June 2018. [Online]. Available: https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review18/tv150_vijayagopal_2018_p.pdf. [Acedido em 23 Dezembro 2020].

- [76] IEA, "The Future of Hydrogen," June 2019. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>. [Acedido em 23 12 2020].
- [77] "Heavy Duty Modules - Fuel Cell Power Products | Ballard Power," [Online]. Available: <https://www.ballard.com/fuel-cell-solutions/fuel-cell-power-products/motive-modules>. [Acedido em 2 12 2020].
- [78] M. & Company, "Electrifying insights: How automakers can drive electrified vehicle sales and profitability," Janeiro 2017. [Online]. Available: https://www.mckinsey.com/~/_/media/McKinsey/Industries/Automotive%20and%20Assembly/Our%20Insights/Electrifying%20insights%20How%20automakers%20can%20drive%20electrified%20vehicle%20sales%20and%20profitability/Electrifying%20insights%20How%20automakers%20. [Acedido em 29 11 2020].
- [79] R. H. Essenhigh, H. E. Shull, T. Blackadar e H. McKinstry, "Effect of vehicle size and engine displacement on automobile fuel consumption," p. 175, 1 Dezembro 1971.
- [80] J. M. C. M. Lopes, "Motores de combustão interna," Fevereiro 2003.
- [81] P. Delhomme, M. Cristea e F. Paran, "Self-reported frequency and perceived difficulty of adopting eco-friendly driving behavior according to gender, age, and environmental concern," 2013.
- [82] J. Abreu e Silva, F. Moura, B. Garcia e R. Vargas, "Influential vectors in fuel consumption by an urban bus operator: Bus route, driver behavior or vehicle type?," 2015.
- [83] G. Coley, A. Wesley, N. Reed e I. Perry, "Driver reaction times to familiar but unexpected events," [Online]. Available: https://trl.co.uk/sites/default/files/PPR313_new.pdf. [Acedido em 17 5 2020].
- [84] D. Leea, A. Elgowainya, A. Kotzb, R. Vijayagopala e J. Marcinkoskic, "Life-cycle implications of hydrogen fuel cell electric vehicle technology for medium- and heavy-duty trucks," 2018.
- [85] "Diário da República, 1ª série - Nº 178," 14 Setembro 2009.
- [86] D. M. Holland, "Powering The EV Revolution," 4 Dezembro 2019. [Online]. Available: <https://cleantechnica.com/2019/12/04/powering-the-ev-revolution-battery-packs-now-at-156-kwh-13-lower-than-2018-finds-bnef/>. [Acedido em 1 Dezembro 2020].
- [87] "Fuel Cells For Heavy Duty Trucks 2030+," 2019. [Online]. Available: <http://emobilitycentre.se/wp-content/uploads/2019/09/fuel-cells-for-heavy-duty-trucks-2030-energiforskrappport-2019-604-1.pdf>. [Acedido em 1 Dezembro 2020].