



# ESCOLA NAVAL



ta sante de bi faire

Departamento de Humanidades e Gestão

ASPOF AN Rita Marques Mesquita

Mobilidade Sustentável na Marinha Portuguesa:  
Descarbonização dos transportes rodoviários coletivos

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Militares Navais,  
na especialidade de Administração Naval



Alfeite

2023





# ESCOLA NAVAL



*talant de bi-faire*



**ASPOF AN Rita Marques Mesquita**

**Mobilidade Sustentável na Marinha Portuguesa:  
Descarbonização dos transportes rodoviários coletivos**

**Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Militares Navais, na  
especialidade de Administração Naval**

**Orientação de:** Daniel Alexandre Almeida Namorado dos Vultos

**Coorientação de:** CTEN TSN-CONT Marlene Elisabete Matos

**Coorientação de:** CFR AN Armindo Silva Frias

A Aluna Mestrando

O Orientador

---

ASPOF AN Marques Mesquita

---

Daniel Vultos

**Alfeite**

**2023**



“It always seems impossible until it’s done.”

Nelson Mandela



## **Agradecimentos**

Com a conclusão deste trabalho, encerro uma etapa marcante da minha jornada na Escola Naval. Este momento representa não apenas o fim de um desafio acadêmico, mas também um testemunho do apoio e da ajuda indispensáveis que recebi das pessoas que me rodeiam. Neste momento de gratidão, gostaria de expressar profundos agradecimentos a todos aqueles que estiveram ao meu lado, pois sem o seu suporte, orientação e encorajamento, este feito não teria sido possível.

Primeiramente, desejo expressar o meu profundo agradecimento aos meus familiares, cujo apoio incondicional e incentivo constante foram fundamentais durante a minha vida e percurso acadêmico.

Gostaria também de estender os meus agradecimentos aos camaradas de curso pelos momentos de colaboração, discussões e trocas de ideias enriquecedoras. Através dessas interações, foi possível expandir os meus horizontes e aprofundar a compreensão do tema em questão.

Por fim, agradeço ao meu orientador e coorientadores por compartilharem o seu conhecimento e experiência, incentivando-me a explorar novas ideias e abordagens.

A todos os mencionados, o meu mais sincero agradecimento. Este trabalho não teria sido possível sem a ajuda e apoio de cada um de vós.



## Resumo

A urgência de reduzir as emissões de Gases com Efeito de Estufa e contribuir para a mitigação das mudanças climáticas requer ação imediata nos vários setores de atividade, em especial no setor dos transportes por ser um dos que mais contribui para a poluição ambiental. A promoção e implementação de uma mobilidade sustentável, através da utilização de combustíveis alternativos, é uma das soluções para enfrentar esse problema e atingir as metas ambientais comprometidas por Portugal. Porém, somente por meio da colaboração e do comprometimento de várias entidades é possível alcançar um futuro mais sustentável e mais verde. Assim, é fundamental que a Marinha Portuguesa assuma um papel ativo na descarbonização da sua frota. Ao fazê-lo, não apenas contribuirá para a mitigação das mudanças climáticas, mas também se tornará um exemplo inspirador para outras entidades.

Esta dissertação concentra-se exclusivamente na descarbonização dos veículos administrativos da Marinha Portuguesa das tipologias E, F e G, também designados por autocarros. Para selecionar os combustíveis alternativos mais adequados para a frota de autocarros, realizaram-se e compararam-se categoricamente vários estudos de caso a entidades que estão a usar ou já usaram autocarros mais sustentáveis. Além disso, efetuou-se uma análise comparativa dos níveis de emissão de Gases de Efeito Estufa por meio de cenários, até o ano de 2030, considerando o aumento da frota de veículos sustentáveis em detrimento dos veículos movidos a combustíveis fósseis. Com os resultados obtidos pretende-se fornecer informações para orientar estratégias de transição para uma mobilidade mais limpa e sustentável.

Na conclusão do estudo, foi possível identificar os melhores combustíveis alternativos a adotar pela instituição e foram feitas sugestões para uma transição em direção a uma frota mais sustentável.

**Palavras-chave:** Alterações climáticas, Combustíveis alternativos, Mobilidade sustentável, Metas ambientais, Estratégias de transição.



## **Abstract**

The urgency to reduce Greenhouse Gas emissions and contribute to climate change mitigation requires immediate action across various sectors, especially in transportation, which is one of the major contributors to environmental pollution. Promoting and implementing sustainable mobility by using alternative energies instead of fossil fuels is the solution to address this problem and achieve Portugal's environmental targets. However, achieving a more sustainable and greener future can only be accomplished through collaboration and commitment from multiple entities. Therefore, it is crucial for the Portuguese Navy, as a public administration entity, to take an active role in decarbonizing its fleet. By doing so, not only will it contribute to climate change mitigation, but it will also serve as an inspiring example to other entities and enhance its image in society.

This dissertation focuses exclusively on the decarbonization of the administrative vehicles of the Portuguese Navy, specifically types E, F, and G, also referred to as buses. In order to select the most suitable alternative fuels for the bus fleet, several case studies were conducted and categorically compared to entities that are currently using or have used more sustainable buses. Additionally, a comparative analysis of Greenhouse Gas emission levels was performed through scenarios until the year 2030, considering the increase in sustainable vehicle fleets at the expense of vehicles running on fossil fuels. The obtained results aim to provide information to guide strategies for transitioning towards cleaner and more sustainable mobility.

In the study's conclusion, the best alternative energies to be adopted by the institution were identified and suggestions were made for transitioning to a more sustainable fleet.

**Keywords:** Climate change, Alternative fuels, Sustainable mobility, Environmental targets, Transition strategies.



## Índice

<b>Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Discussão ambiental.....</b>	<b>5</b>
1.1. O efeito de estufa e as alterações climáticas.....	5
1.1.1. Efeito de estufa.....	5
1.1.2. Gases com Efeito de Estufa.....	6
1.1.3. Alterações climáticas: causas e impactos .....	8
1.2. Enquadramento Legal.....	10
1.3. Energia Renovável.....	15
<b>2. Setor dos transportes em Portugal .....</b>	<b>19</b>
2.1. Metas de redução de GEE .....	21
2.2. Alternativas sustentáveis.....	24
2.2.1. Autocarros a gás natural.....	25
2.2.2. Autocarros a biocombustíveis .....	27
2.2.3. Autocarros elétricos a baterias/ Autocarros 100% elétricos (BEB) .....	30
2.2.4. Autocarros elétricos a hidrogénio (FCEB).....	34
2.3. Apoios ao investimento .....	35
<b>3. Metodologia.....</b>	<b>37</b>
3.1. Estratégia de Investigação .....	37
3.2. Desenho de Pesquisa.....	38
3.3. Método de Obtenção de Informação.....	40
3.4. Método de Análise dos Dados.....	43
<b>4. Estudos de caso .....</b>	<b>47</b>
4.1. CARRIS.....	47
4.2. STCP .....	49
4.3. CMC.....	52
4.4. MP .....	53
<b>5. Análise de dados e resultados .....</b>	<b>59</b>
5.1. Emissões de CO <sub>2</sub> .....	59
5.2. Intenção institucional.....	61

5.3. Apoios financeiros .....	62
5.4. Limitações operacionais em função da fonte energética.....	63
5.5. Fim de vida útil dos veículos.....	64
5.6. Infraestruturas de carregamento/ abastecimento .....	65
5.7. Manutenção.....	66
5.8. Perspetivas futuras .....	67
5.9. Classificação das categorias .....	69
<b>Conclusões e Recomendações .....</b>	<b>71</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>75</b>
<b>Apêndices .....</b>	<b>87</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>98</b>

## Índice de Figuras

Figura 1 – Greenhouse effect working process .....	6
Figura 2 – Annual GEE, by gas.....	7
Figura 3 - Princípios dos ODS .....	13
Figura 4 – World electricity production from fossil fuels, nuclear and renewables .....	16
Figura 5 - Energy production by renewable energy source in the world .....	17
Figura 6 - Evolução das emissões dos transportes em Portugal.....	19
Figura 7 – Ranking of mixed methods in terms of priority and sequence.....	38
Figura 8 – Tipos de estudos de caso.....	39
Figura 9 – Tópicos para análise das entrevistas .....	42
Figura 10 - Idade média dos autocarros da CARRIS entre 2011 e 2021 .....	47
Figura 11 - Evolução da frota de autocarros da CARRIS por fonte de energia .....	48
Figura 12 - Idade média dos autocarros da STCP entre 2011 e 2021 .....	50
Figura 13 - Evolução da frota de autocarros da STCP por fonte de energia .....	51
Figura 14 - Idade média dos autocarros da Cascais Próxima entre 2019 e 2021 .....	53
Figura 15 – Hydrogen types .....	88
Figura 16 – Produção de hidrogénio verde a partir de ER.....	89
Figura 17 – Cenário 1 de renovação da frota .....	94
Figura 18 - Cenário 2 de renovação da frota.....	94
Figura 19 - Cenário 3 de renovação da frota.....	95
Figura 20 - Cenário 4 de renovação da frota.....	95
Figura 21 - Cenário 5 de renovação da frota.....	96
Figura 22 - Objetivos nacionais para o horizonte 2030 .....	99
Figura 23 - Objetivos nacionais para o horizonte 2030 (continuação).....	100
Figura 24 - Box and whisker plots of costs of key life cycle phases for the most common bus technologies.....	101
Figura 25 - Comparison of EV battery types .....	102
Figura 26 – Processo de aquisição de viaturas pela MP .....	103
Figura 27 – Identificação dos autocarros da MP .....	104



## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Origem dos GEE.....	8
Tabela 2 - Variação do Custo Nivelado de Energia (LCOE) (2021 USD/kWh) por tipo de ER.....	18
Tabela 3 - Metas de redução de emissões de GEE em Portugal.....	24
Tabela 4 - Types of raw materials and end products of different generations of biofuels...	28
Tabela 5 – Número de veículos 100% elétricos da categoria Pesados de Passageiros vendidos em Portugal, anualmente.....	30
Tabela 6 - Tópicos e tipo de análise de dados.....	43
Tabela 7 - Tipologia militar das viaturas e respetiva denominação.....	54
Tabela 8 - Número de veículos e idade média por tipologia militar.....	55
Tabela 9 - Emissões (tCO <sub>2</sub> ) por km e tipo de combustível.....	60
Tabela 10 - Variação das emissões de CO <sub>2</sub> , após conclusão plano substituição dos autocarros.....	61
Tabela 11 – Classificação comparativa de autocarros movidos a combustíveis alternativos	69



## **Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos**

AP – Administração Pública

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

APVGN – Associação Portuguesa do Veículo a Gás Natural

BCSD - *Business Council for Sustainable Development*

BEB – Autocarros elétricos a baterias/ Autocarros 100% elétricos/ *Battery Electric Buses*

BNL – Base Naval de Lisboa

CAC - Comissão para Alterações Climáticas

CEFA - Centro de Educação Física da Armada

CH<sub>4</sub> – Metano

CMC – Câmara Municipal de Cascais

CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono

CO<sub>2</sub>e – Dióxido de carbono equivalente

COP – Conferência das Partes

CQNUAC – Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas

DT – Direção de Transportes

ECA – *European Court of Auditors*

ECO.AP - Programa de Eficiência Energética na Administração Pública

EPA - *Environmental Protection Agency*

ER – Energia(s) Renovável(is)

FCEB – Autocarros elétricos a hidrogénio

F-Gas – Gases fluorados

FPC - Fundo Português do Carbono

GEE – Gases com Efeito de Estufa

GNC – Gás natural comprimido

GNL – Gás natural liquefeito

GWP – *Global Warming Potential*

IE – Iniciativas Estratégicas

IEA - *International Energy Agency*

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

IRENA - *International Renewable Energy Agency*

ISCTE-IUL - Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa do Instituto  
Universitário de Lisboa

IST-UL - Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa

Km – Quilómetro(s)

LBC - Lei de Bases do Clima

LCOE - Custo Nivelado de Energia/ Custo do kWh Produzido

MP – Marinha Portuguesa

N<sub>2</sub>O – Óxido nitroso

OC – Objetivo central

ODM – Objetivo(s) de Desenvolvimento do Milénio

ODS – Objetivo(s) de Desenvolvimento Sustentável

OE – Objetivo(s) específico(s)

PNAC - Programa Nacional para as Alterações Climática

PNALE - Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão

PNEC - Plano Nacional de Energia e Clima

POSEUR - Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos

PRR – Plano de Recuperação e Resiliência

RNC2050 – Roteiro para a Neutralidade carbónica 2050

STCP – Sociedade de Transportes Coletivos do Porto

tCO<sub>2</sub> – Tonelada(s) de dióxido de carbono

*TWh* - Terawatt-hora

UVE – Associação de Utilizadores de Veículos Elétricos



## Introdução

Desde 1950, a população mundial mais que triplicou (Our World in Data, n.d.), o que representa um potencial impacto negativo para o planeta se não houver uma rápida e eficaz adaptação. O consumo intensivo de energia proveniente da queima de combustíveis fósseis tem proporcionado impactos cada vez mais severos no meio ambiente. Entre estes, destacam-se o aumento das temperaturas médias anuais, dos fenómenos climáticos extremos mais frequentes e intensos, nomeadamente as ondas de calor sem precedentes, secas extremas, precipitação intensa e a subida do nível médio das águas do mar. Destes acontecimentos extremos têm resultado consequências humanitárias e económicas que ameaçam diariamente o bem-estar e a prosperidade da população mundial (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas [IPCC], 2018). A redução da disponibilidade e acesso a alimentos, a migração forçada e a superexploração dos recursos naturais, devido ao aumento da atividade humana, são alguns exemplos das consequências deste rápido crescimento populacional.

Em 1992, foi realizada no Rio de Janeiro a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento que pretendia estabelecer uma nova e justa cooperação global, com vista a estabelecer acordos internacionais relativos ao desenvolvimento sustentável. A partir dessa data, foi reconhecida pela comunidade internacional a necessidade haver uma cooperação global para proteger as pessoas, o ambiente e, em especial, limitar as emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE). O Protocolo de Quioto e o Acordo em Paris foram passos importantes na questão das alterações climáticas. Definiram objetivos ambiciosos referentes à redução das emissões de carbono resultantes do uso de combustíveis fósseis, comprovando que a cooperação global é possível. Em 2016, Portugal assumiu o objetivo de atingir a neutralidade carbónica até 2050.

Tornar as cidades mais verdes, sustentáveis e que garantam bem-estar aos seus cidadãos é um desafio cada vez mais exigente. Requer uma abordagem integrada e a vários níveis, ou seja, uma colaboração e cooperação dos diversos setores de atividade. À medida que os efeitos das mudanças climáticas se tornam mais evidentes, é essencial adaptar as cidades e o modo de vida dos cidadãos. Tal é possível, encontrando soluções e tomando medidas que permitam assegurar e, se possível, acelerar a transição para uma vivência humana neutra de emissões de carbono.

Os aglomerados civilizacionais são dos principais focos de emissões de GEE, nomeadamente pela utilização intensiva de veículos movidos a combustíveis fósseis. Segundo a APA (2023), em 2021, o setor dos transportes representava cerca de 28% das emissões nacionais de GEE do setor da energia. Sendo este setor dominado pelos transportes rodoviários, estes são considerados os principais responsáveis pelas alterações climáticas no setor dos transportes. Como tal, devem ser tomadas medidas para minimizar os impactos climáticos. Tais medidas, passam pela promoção da mobilidade sustentável<sup>1</sup> através da utilização de energias alternativas aos combustíveis fósseis que emitam menos GEE quer na fase *well-to-tank*<sup>2</sup> quer na fase *tank-to-wheel*<sup>3</sup> e do incentivo à adoção da mobilidade coletiva e mobilidade suave.

As diversas metas que Portugal se comprometeu a cumprir, tanto a nível nacional como a nível europeu, só serão possíveis de alcançar se existir um efetivo contributo das empresas, entidades públicas e cidadãos, na redução das emissões poluentes. A Marinha Portuguesa (MP), como entidade da Administração Pública (AP), também terá a responsabilidade de contribuir para a mitigação e adaptação às alterações climáticas, através da descarbonização dos meios de transporte que utiliza. Assim, poderá contribuir para a redução dos impactos ambientais negativos e promover a sua imagem corporativa na sociedade.

O foco deste trabalho será a descarbonização dos transportes rodoviários coletivos da MP, isto é, dos seus autocarros. Será direcionado para a procura de soluções que permitam reduzir as emissões de carbono dos autocarros administrativos, sem comprometer as missões e atividades da MP. A escolha deste tipo de veículos deveu-se ao facto de, na maioria das vezes, percorrerem rotas não muito longas, estacionarem quase

---

<sup>1</sup> “Capacidade de dar resposta às necessidades da sociedade em deslocar -se livremente, aceder, comunicar, transacionar e estabelecer relações, sem sacrificar outros valores humanos e ecológicos, hoje e no futuro” (World Business Council for Sustainable Development, 2004).

<sup>2</sup> *Well-to-tank* é uma fase do ciclo de vida de um veículo que abrange todos os processos relacionados com a produção do combustível, isto é, desde a extração da matéria-prima até ao armazenamento do combustível no depósito/tanque do veículo (Woo, 2017).

<sup>3</sup> *Tank-to-wheel* é uma fase do ciclo de vida de um veículo que apenas abrange a utilização do combustível no veículo (Woo, 2017).

sempre nos mesmos locais e, principalmente, pelo papel fundamental do transporte coletivo na sustentabilidade.

A presente investigação tem como objetivo central (OC): **Apresentação de uma proposta de renovação da frota de autocarros da MP que vise uma abordagem mais sustentável**, reforçando o cumprimento das metas ambientais do país e a construção de um futuro mais sustentável. Para tal, torna-se imprescindível analisar e comparar as diferentes energias alternativas, a fim de identificar a opção mais adequada em termos de sustentabilidade e viabilidade operacional. A questão central que direciona este estudo é: **Quais os melhores combustíveis alternativos para a transição para uma frota de autocarros sustentáveis na MP?**

A partir do OC foi possível desenvolver três objetivos específicos (OE):

- OE1: Identificar as principais medidas implementadas relativamente à transição energética e à mobilidade sustentável, em Portugal e na MP;
- OE2: Analisar e comparar diferentes energias alternativas, indicando os principais benefícios e vulnerabilidades relacionados à transição para uma frota de autocarros mais sustentável;
- OE3: Apresentar medidas de renovação da frota que atendam às necessidades da MP.

Estruturalmente, a presente dissertação é constituída por cinco capítulos. O capítulo introdutório apresenta um enquadramento geral e a pertinência do tema, a metodologia de investigação, os seus objetivos e a estrutura da dissertação.

No Capítulo 1, foram explorados diversos conceitos relacionados com as alterações climáticas. Foi fornecida uma explicação detalhada do processo do efeito estufa, a identificação dos principais GEE e as causas e impactos ambientais das suas emissões. Foram ainda abordados o enquadramento legal e a importância das energias renováveis (ER) na atualidade.

No capítulo seguinte, foi apresentado o tema do setor dos transportes que indicará as metas nacionais e europeias a atingir nesse setor e caracterizará diferentes alternativas aos autocarros movidos a combustíveis convencionais.

O Capítulo 3 refere-se à Metodologia, onde são descritos a estratégia de investigação, o desenho de pesquisa e os métodos de obtenção de informação e análise de dados.

O Capítulo 4 é dedicado aos estudos de caso que analisam a situação concreta da mobilidade sustentável e do compromisso com ER na MP e em Portugal. No caso nacional, foram consultadas entidades que já tenham posto em prática um plano de mobilidade sustentável. Já no caso da MP, foi verificado o estado atual do seu parque de veículos (apenas autocarros), os principais constrangimentos e perspetivas futuras.

No Capítulo 5, foram analisados e comparados categoricamente os dados e resultados obtidos nas entrevistas. Foi também desenvolvida uma análise de cenários, por forma a propor uma possível renovação da frota da MP até 2030.

Por fim, procedeu-se à apresentação das conclusões alcançadas com este trabalho, identificação de limitações do estudo e recomendações para investigações futuras nesta área.

# 1. Discussão ambiental

## 1.1. O efeito de estufa e as alterações climáticas

### 1.1.1. Efeito de estufa

Desde a década de 1760, foram surgindo novas descobertas (Bard, 2004; Crawford, 1997; Houghton, 2004; Fourier, 1827; Tyndall, 1861; Fleming, 1999) que permitiram associar a atmosfera ao atual conceito de efeito de estufa<sup>4</sup>. No que respeita ao seu funcionamento (Figura 1), cerca de metade da radiação solar que viaja em direção à Terra é refletida de volta para o espaço ou absorvida pela atmosfera. A outra metade da radiação solar atravessa a atmosfera e atinge a superfície da Terra, onde é absorvida pelos oceanos e pelo solo. Paralelamente, a Terra liberta calor (radiação infravermelha). Parte desse calor atravessa a atmosfera e volta para o espaço, mas a maior parte é capturado e retido pelos GEE (Sub-subcapítulo 1.1.2) (Bargaoui & Nouri, 2021). É esse processo natural de retenção que impede a perda de calor da atmosfera para o espaço. Deste modo, aumentos na quantidade de GEE significarão que mais calor é retido no planeta, elevando a temperatura do mesmo (Mitchell, 1989). Esse aumento da temperatura média da Terra também é conhecido como aquecimento global (IPCC, 2022).

Na ausência de GEE na atmosfera, todo esse calor passaria diretamente de volta para o espaço, o que provocaria um intenso arrefecimento. De acordo com Mitchell (1989), a temperatura média da Terra desceria dos 15°C para os -18°C.

---

<sup>4</sup> O efeito de estufa é atualmente conhecido como um fenómeno natural que ocorre na atmosfera e é fundamental para tornar o planeta Terra habitável. A presença de determinados gases na atmosfera permite reter parte da radiação emitida pela superfície terrestre e manter uma temperatura média global de 15°C (Mitchell, 1989; Bargaoui & Nouri, 2021).

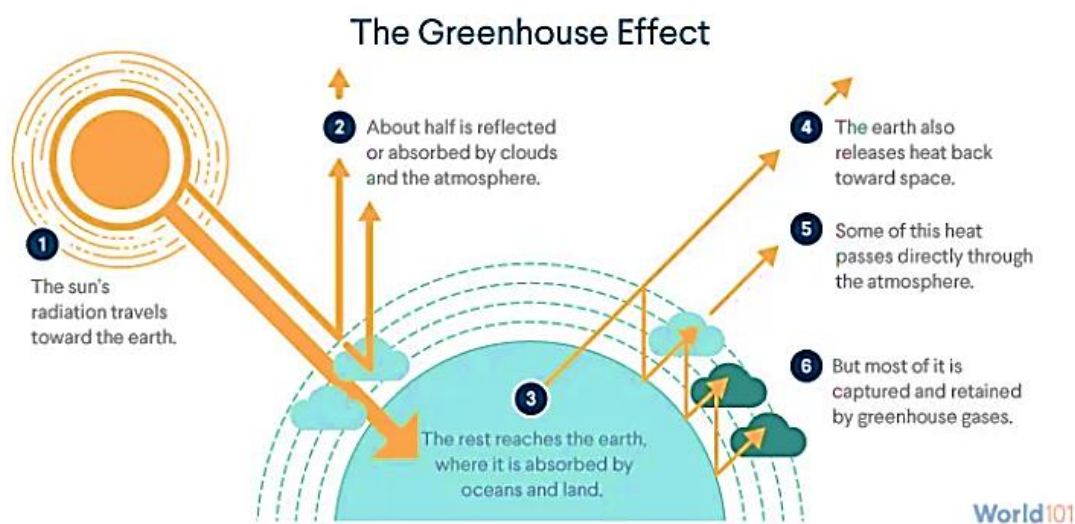


Figura 1 – Greenhouse effect working process

Fonte: World101 (2017)

#### 1.1.2. Gases com Efeito de Estufa

O artigo 1.º da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (CQNUAC) (Decreto n.º 14/2003) define GEE como sendo os gases atmosféricos, naturais e antropogénicos<sup>5</sup> que absorvem radiação infravermelha. De acordo com o IPCC (2022), os principais GEE são:

- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), provocado essencialmente da queima de combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão) em fábricas, nos transportes ou nas centrais elétricas. Por outro lado, é removido da atmosfera quando é absorvido pelas plantas como parte do ciclo biológico do carbono;
- Metano (CH<sub>4</sub>), emitido especialmente na atividade agropecuária e nos aterros sanitários;
- Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), resultante da utilização de fertilizantes químicos;
- Gases fluorados (F-Gas), que resultam principalmente da utilização de sistemas de climatização, como por exemplo equipamentos de refrigeração, ar condicionado, bombas de calor, entre outros.

<sup>5</sup> Resulta ou é produzido por atividades humanas (IPCC, 2022).

Apesar de serem vários os gases que provocam o efeito de estufa, nem todos têm o mesmo impacto ambiental. Uma vez que os gases têm características diferentes uns dos outros, foram desenvolvidas diversas métricas que possibilitam a comparação dos diferentes gases em relação a diversos aspetos. A CQNUAC (IPCC, 2013) adotou o *Global Warming Potential* (GWP) com um horizonte temporal de 100 anos como uma medida energética de referência mundial. O  $GWP_{100}$  pode ser definido como a quantidade de energia que uma tonelada de emissões de um determinado gás irá absorver durante um período específico, neste caso 100 anos, em comparação com as emissões de uma tonelada de  $CO_2$  (Environmental Protection Agency [EPA], 2023).

Outro conceito muito usado para comparar os diversos gases e que tem em consideração o GWP é o dióxido de carbono equivalente ( $CO_2e$ ). É uma medida internacional usada para expressar o impacto climático de diferentes GEE através da conversão das emissões de outros GEE para uma quantidade equivalente de  $CO_2$  que teria o mesmo efeito de aquecimento na atmosfera (IPCC, 2022). Assim sendo, o  $CO_2e$  corresponde à multiplicação da quantidade de um gás pelo seu GWP, geralmente para um período de 100 anos. Segundo esta métrica, embora o  $CO_2$  seja o GEE que menos impacto tem no aquecimento global (IPCC, 2021), em comparação com os acima referidos, é o que é produzido em maior escala, representando quase 75% das emissões mundiais (Figura 2). Como tal, é de longe o principal responsável pelo aquecimento global e, consequentemente, pelas alterações climáticas.

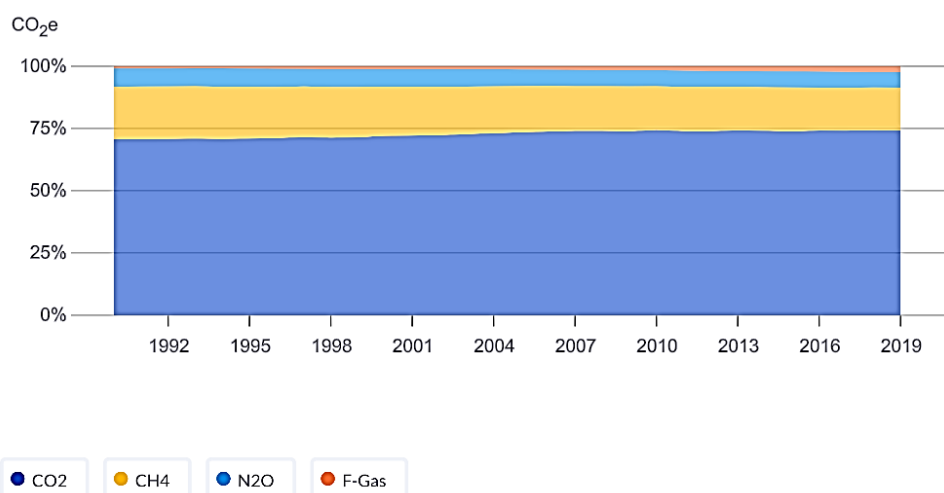


Figura 2 – Annual GEE, by gas

Fonte: Climate Watch (n.d.)

### 1.1.3. Alterações climáticas: causas e impactos

O equilíbrio entre a energia que entra e a energia que sai do planeta é o que tem permitido a existência de vida na Terra. Contudo, o excesso de GEE tem perturbado esse equilíbrio. À medida que estes gases se acumulam na atmosfera, mais radiação infravermelha vinda da superfície da Terra é retida e menos energia volta para o espaço.

Vários eventos naturais afetam o clima da Terra ao longo do tempo, nomeadamente incêndios florestais, erupções vulcânicas e movimentos de rotação e translação da Terra. Contudo, essas causas naturais não explicam por si só o rápido aquecimento da atmosfera, dos oceanos e das superfícies terrestres verificado desde o início da Revolução Industrial (Comissão Europeia, 2009). Portanto, embora alguns dos GEE ocorram naturalmente no meio ambiente, comprovou-se que muitos deles são criados e emitidos exclusivamente por atividades humanas, isto é, ações antropogénicas (Tabela 1).

Tabela 1 - Origem dos GEE

GEE	Origem	
	Natural	Antrópica
CO <sub>2</sub>	X	X
CH <sub>4</sub>	X	X
N <sub>2</sub> O	X	X
F-Gas		X

Fonte: Com base em Neto (2010)

O conceito de mudança ou alteração climática, é definido pelo IPCC (2014) como “uma alteração no estado do clima que pode ser identificada (ex.: por meio de testes estatísticos) através de alterações na média e/ou na variabilidade das suas propriedades e que persiste durante um longo período de tempo, tipicamente décadas ou mais”. Paralelamente, no artigo 1.º da CQNUAC (Decreto n.º 14/2003) este fenómeno global é referido como “uma modificação no clima atribuível, direta ou indiretamente, à atividade humana que altera a composição da atmosfera global e que, conjugada com as variações

climáticas naturais, é observada durante períodos de tempo comparáveis”. Deste modo, ambas as entidades fazem referência ao conceito de alteração climática, atribuindo-lhe causas naturais e causas antropogénicas.

As Nações Unidas (n.d.) e o IPCC (2018) destacam uma série de mudanças nos padrões climáticos resultantes das alterações climáticas:

- Temperaturas mais altas. O aquecimento global tem contribuído para a ocorrência mais frequente de ondas de calor, o que tem consequências negativas para a saúde humana e aumenta os riscos de incêndios florestais;
- Tempestades mais severas. O aumento da intensidade, frequência e dimensão das tempestades, resultante do aumento da temperatura dos oceanos e do solo, tem causado danos significativos nas comunidades e na economia;
- Aumento da seca. As alterações climáticas agravam a disponibilidade de água, resultando em períodos de seca mais frequentes e intensos. Essas condições têm afetado negativamente a agricultura, os ecossistemas e o acesso à água potável para as comunidades. Além disso, as secas podem desencadear tempestades de areia e poeira devastadoras, comprometendo a qualidade do ar e a saúde humana;
- Subida do nível médio das águas do mar e da sua temperatura. O aumento da temperatura dos oceanos, como consequência do aquecimento global, causa o degelo dos glaciares. À medida que os glaciares derretem, mais água flui para os oceanos e maior é o nível das águas do mar. Como resultado da elevação média global do nível do mar tem-se verificado danos generalizados nas zonas costeiras, fomentando o seu abandono. Além disso, a absorção de CO<sub>2</sub> pelo oceano torna-o mais ácido e ameaça a vida marinha e recifes de corais;
- Perda de espécies. O aumento da temperatura e a degradação dos *habitats* tem conduzido à extinção de várias espécies. Incêndios florestais, eventos climáticos extremos e a propagação de doenças e pragas invasoras são algumas das ameaças enfrentadas pelas espécies;
- Aumento dos riscos e ameaças à segurança alimentar, saúde e bem-estar dos seres humanos. Em conjunto, os mencionados efeitos das alterações climáticas ameaçam a população mundial. Na área da alimentação, têm

prejudicado a agricultura, a pesca e a criação de gado. Como resultado, os recursos alimentares são cada vez menores, aumentando a fome e a subnutrição em muitas regiões. Os eventos climáticos extremos, como inundações, tempestades e secas, têm destruído casas, meios de subsistência e infraestruturas, o que tem levado as pessoas à pobreza e à sua deslocação constante. A conjunção de todos esses fatores, aliada à poluição do ar, tem resultado num aumento dos riscos para a saúde dos cidadãos, sobretudo no que se refere a problemas respiratórios.

De acordo com Gates (2021), alcançar "zero emissões" não significa a total ausência de emissões, mas sim a procura pela Neutralidade Carbónica. Por outras palavras, enfrentar o desafio global das alterações climáticas não implica a erradicação completa das emissões de GEE, pois num mundo mais ecológico continuarão a ser produzidas emissões. Significa reduzir as emissões de modo a estabelecer um equilíbrio estável entre as emissões que geramos e as que conseguimos eliminar da atmosfera.

## **1.2. Enquadramento Legal**

Até finais dos anos 60, o debate sobre as alterações climáticas e o fenómeno dos GEE era tratado apenas por cientistas (físicos, meteorologistas, químicos, entre outros). No entanto, a junção dos lados científico e político vieram enriquecer essas discussões. Naquela época, o envolvimento do CO<sub>2</sub> no efeito de estufa já era conhecido e discutido por alguns cientistas devido aos impactos ambientais cada vez mais evidentes (Bonneuil *et al.*, 2021). Assim, à medida que se solidificava a hipótese do aquecimento global antropogénico, as questões ambientais ganhavam destaque.

A nível internacional, a consciência das alterações climáticas só foi revelada pela primeira vez em 1972 na Conferência de Estocolmo (Leitão, 2022). É considerado um marco histórico não só por procurar promover um equilíbrio entre o desenvolvimento social e económico dos países e a redução da degradação ambiental, como por relacionar pela primeira vez o impacto do Homem no meio ambiente.

Em 1975, na Conferência de Belgrado, foi estabelecida a definição de Educação Ambiental cujo objetivo era garantir uma cidadania informada, ativa e preocupada em enfrentar os problemas atuais. A Carta de Belgrado (United Nations Environment

Programme, 1975) implicava, portanto, trabalhar individual e coletivamente na resolução dos desafios atuais, assegurando que não se repetiam no futuro.

Outro evento importante foi a realização da Primeira Conferência Mundial do Clima, em Genebra, em 1979, que serviu como base para a criação do IPCC. A organização foi fundada em 1988 e tem como função realizar uma avaliação regular das mudanças climáticas (Bargaoui & Nouri, 2021). Engloba três grupos de trabalho e um grupo especial (Soukiazes, 2009):

- “Grupo de Trabalho I: Responsável pela avaliação dos aspectos científicos do sistema climático e alterações climáticas;
- Grupo de Trabalho II: Estuda a vulnerabilidade socioeconômica dos sistemas naturais às alterações climáticas, suas consequências positivas e negativas tal como possíveis medidas de adaptação;
- Grupo de Trabalho III: Dedicar-se à avaliação das opções para limitar as emissões de GEE e mitigação das alterações climáticas;
- Grupo de Ação em inventários nacionais de GEE.”

O conceito de Desenvolvimento Sustentável surgiu pela primeira vez em 1987 no Relatório de Brundtland (Nações Unidas, 1987) e perdura até hoje. Na altura foi definido como o desenvolvimento equilibrado das necessidades sociais, econômicas e ambientais, promovendo o uso responsável dos recursos naturais e a preservação do meio ambiente.

Mais tarde, no ano de 1992, no Rio de Janeiro, realizou-se a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento ou “Cimeira da Terra” (Nações Unidas, 1992), que pretendia estabelecer uma nova e justa cooperação global, com vista a estabelecer acordos internacionais relativos ao desenvolvimento sustentável. A partir dessa data, foi reconhecida pela comunidade internacional a necessidade de uma cooperação global para proteger as pessoas, o ambiente e, em especial, limitar as emissões de GEE. Nessa conferência foram apresentados vários resultados sobre o desenvolvimento sustentável que foram articulados num único documento, a Agenda 21. Assim, para além de conter uma série de recomendações econômicas, sociais e ambientais para alcançar o desenvolvimento sustentável, afirmava que este deveria ser um assunto prioritário na agenda da comunidade internacional (Mensah, 2019). Foram também adotadas três convenções, entre as quais se destaca a CQNUAC que, apesar de ter sido aprovada em 1992, só entrou em vigor em 1994. O objetivo final desse tratado era diminuir a

concentração de GEE na atmosfera até ao ponto em que deixassem de ser prejudiciais para o ser humano.

Em meados da década de 1990, consideraram-se necessárias disposições mais rigorosas para reduzir as emissões de GEE. Desde então, têm-se realizado reuniões anuais, intituladas de Conferências das Partes (COP), cujos principais objetivos são não só analisar e debater o progresso de cada parte, como promover e garantir o cumprimento da CQNUAC.

A primeira COP deu-se em Berlim, em 1995, e foi nesse evento que os países desenvolvidos foram reconhecidos como os principais responsáveis pelas elevadas emissões de GEE. Durante a terceira COP, realizada em Quioto, em 1997, estabeleceu-se outro marco importante na história através da assinatura do Protocolo de Quioto. Esse tratado internacional propunha que determinados países-membros, especialmente os desenvolvidos, reduzissem as suas emissões de GEE no período de 2008 a 2012 em aproximadamente 5% relativamente aos níveis de 1990. Além disso, “foi o primeiro tratado jurídico internacional que explicitamente pretende limitar as emissões quantificadas de GEE dos países desenvolvidos” (Agência Portuguesa do Ambiente [APA], n.d.-a), através do estabelecimento de limites legais. Porém, alguns países industrializados consideravam que o protocolo não atingia os resultados esperados, visto que as metas estabelecidas não tinham sido homogêneas para todos os países.

No início do século XXI, os líderes mundiais concordaram com os oito Objetivos de Desenvolvimento do Milénio (ODM) definidos durante a Cimeira do Milénio, com o intuito de serem alcançados até ao final de 2015. À Declaração assinada foram, então, anexados os ODM que abrangiam os seguintes temas: combate a doenças, fome, pobreza, analfabetismo, discriminação contra mulheres e degradação ambiental (MDGMonitor, n.d.).

Os ODM estiveram em curso até 2015, ano em que os Chefes de Estado e de Governo das Nações Unidas se reuniram numa Cimeira e estabeleceram uma nova agenda, a Agenda 2030. Este plano mais ambicioso “define as prioridades e aspirações do desenvolvimento sustentável global para 2030 e procura mobilizar esforços globais à volta de um conjunto de objetivos e metas comuns” (Business Council for Sustainable Development [BCSD], n.d.). É composto por 169 metas e 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) desenvolvidos a partir dos ODM. Os ODS traçados

devem ser alcançados por todos os países, incluindo os países em desenvolvimento, e assentam em cinco princípios (Figura 3): Planeta, Pessoas, Prosperidade, Paz e Parcerias, sendo que cada um deles tem objetivos associados. Contudo, a concretização destes objetivos não depende apenas do compromisso dos governos, mas também do envolvimento de todos os cidadãos.



Figura 3 - Princípios dos ODS

Fonte: BCSD Portugal (n.d.)

Com o término do Protocolo de Quioto em 2012, surgiu a necessidade de estabelecer novos objetivos e campos de ação no cenário internacional no que toca às alterações climáticas. Em 2015, o Acordo de Paris, afirmou-se como a nova perspetiva a ser seguida e comprovou que apenas com a cooperação global é possível vencer o desafio das alterações climáticas. O que diferenciava esse de outros acordos internacionais estabelecidos até à data era a sua nova abordagem. Segundo esse documento, as partes assinantes tinham de apresentar as suas próprias metas de redução dos GEE, consoante as suas possibilidades para a resolução global do problema das alterações climáticas (Chan, 2016). Ainda assim, o Acordo de Paris estabeleceu uma meta global aos países signatários que consiste em “limitar o aquecimento global a um valor bem abaixo dos 2°C e envidar esforços para o limitar a 1,5°C” (Conselho Europeu, n.d.).

No contexto nacional, os primeiros passos na importância da questão ambiental foram dados em 1987 com a criação do Instituto Nacional do Ambiente, que cinco anos mais tarde foi substituído pelo Instituto de Promoção Ambiental e passou a integrar o Instituto do Ambiente. Em 1992, Portugal assinou a CQNUAC e em 1998 o Protocolo de Quioto, no qual era considerado um país em desenvolvimento pelo que deveria “limitar o aumento das suas emissões a 27% relativamente aos valores de 1990” (Resolução do Conselho de Ministros n.º 119/2004). Nesse mesmo ano e nesse contexto, foi instituída a Comissão para as Alterações Climáticas (CAC), cujas competências eram: elaborar uma estratégia nacional para as alterações climáticas; propor medidas; acompanhar a implementação das medidas adotadas; prestar assessoria técnica e científica; e elaborar relatórios a nível nacional sobre as alterações climáticas (Resolução do Conselho de Ministros n.º 72/98).

Da estratégia nacional elaborada pela CAC em 2001 resultaram três grandes trabalhos: Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), o Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão (PNALE) e o Fundo Português do Carbono (FPC) (Delicado & Schmidt, 2014). Foi, assim, elaborado o primeiro programa nacional que se centrava no controlo e mitigação das emissões de GEE, na antecipação dos impactos e na proposta de medidas de adaptação às alterações climáticas. No entanto, o programa não estava a produzir os efeitos desejados, afastando-se cada vez mais das metas definidas no Protocolo de Quioto. Como resultado, foram feitas alterações e adicionado um conjunto de medidas à primeira versão, que deram origem ao PNAC 2004, PNAC 2006 e mais tarde ao PNAC 2020/2030.

O último PNALE em vigor era o PNALE II, relativo ao período de 2008-2012, que fixava e atribuía um determinado número de licenças de emissão de GEE em Portugal (Resolução do Conselho de Ministros n.º 1/2008). Já o FPC foi criado “como um instrumento financeiro do Estado Português para suprir o desvio de cumprimento do Protocolo de Quioto” (Delicado & Schmidt, 2014) e veio ajudar na execução do PNALE.

Em 2006, foi criada a APA com o “mandato de propor, desenvolver e acompanhar a execução das políticas nacionais de ambiente e de desenvolvimento sustentável, nomeadamente em áreas como as alterações climáticas e o controlo integrado da poluição” (Ferreira, 2020). Após o Acordo de Paris, Portugal criou o Fundo Ambiental (Decreto-Lei n.º 42-A/2016) que veio extinguir, entre outros, o FPC.

Na COP22 em Marraquexe, Portugal tornou-se o primeiro país do mundo a comprometer-se com a Neutralidade Carbónica em 2050. Essas expectativas vieram materializar-se mais tarde com o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050). O propósito desse roteiro foi, por isso, estabelecer “a trajetória de redução de emissões e as opções de políticas e medidas para atingir esse objetivo, criando riqueza sem delapidar os recursos” (Silva & Fernandes, 2020). Em maio de 2020, o PNAC 2020/2030 foi atualizado e substituído pelo Plano Nacional de Energia e Clima (PNEC) 2030, onde é delineada uma série de metas nacionais para a década 2021-2030 (Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020).

Ao nível estatal, foi criado o Programa de Eficiência Energética na Administração Pública (ECO.AP) (Resolução do Conselho de Ministros n.º 2/2011) cujo propósito era promover uma gestão racional dos consumos energéticos e desenvolver uma política de eficiência energética na AP. Contudo, para assegurar o cumprimento das novas metas e objetivos definidos no PNEC 2030, o Governo (Resolução do Conselho de Ministros n.º 104/2020) lançou o ECO.AP para o horizonte de 2030, adaptando e renovando a promoção das políticas de eficiência energética, a utilização de fontes de ER e a otimização de recursos.

Por fim, em 2021, foi publicada a Lei de Bases do Clima (LBC) (Lei n.º 98/2021). Nesta é “reconhecida a situação de emergência climática” e aprovados os principais objetivos da política climática.

### **1.3. Energia Renovável**

A nível mundial, é possível verificar que ainda existe uma grande dependência de combustíveis fósseis para responder às necessidades crescentes de energia, muito devido às exigências tecnológicas. A Figura 4 mostra a percentagem total de produção de eletricidade no mundo proveniente de combustíveis fósseis, energia nuclear e ER, desde 1985. É de notar que no ano de 2021 a energia oriunda de combustíveis fósseis representava ainda 61,8%, apesar do aumento de ER nos últimos anos. Como tal, um dos grandes objetivos é descobrir como obter benefícios da eletricidade sem que sejam emitidos GEE. Através da produção de energia limpa<sup>6</sup>, outras atividades como a produção industrial ou transportes

---

<sup>6</sup> Entende-se por energia limpa a energia proveniente de fontes renováveis.

também vão reduzir as suas emissões. Contudo, tem de se ter em conta que as soluções encontradas para criar e disponibilizar a energia limpa terão de ser tanto fiáveis como acessíveis.

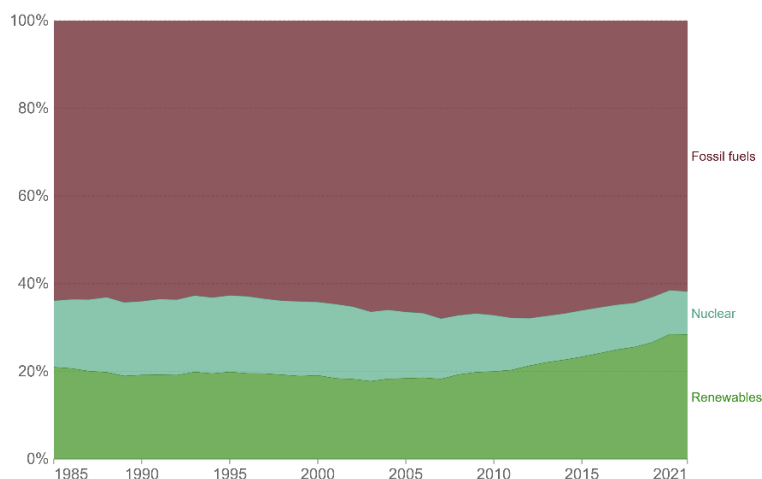


Figura 4 – World electricity production from fossil fuels, nuclear and renewables

Fonte: Ritchie *et al.* (2022)

A alternativa consiste numa fonte ecológica de produção de energia para controlar a poluição e tornar o ambiente mais limpo. As ER tais como as energias solar, eólica, hidroelétrica, entre outros, são definidas como qualquer forma de energia que é reabastecida por processos naturais a uma taxa que igual ou exceda a sua taxa de uso (IPCC, 2022) e foram introduzidas na sociedade para enfrentar para superar a atual crise ambiental. Devido às suas características ecológicas e à capacidade de fornecer energia livre de poluentes atmosféricos e GEE, emitindo zero ou quase zero por cento desses gases, as ER estão a receber cada vez mais atenção. Nos últimos anos, a crescente conscientização da sociedade em relação à preocupação ambiental, avanços tecnológicos e incentivos e políticas governamentais têm impulsionado o aumento da produção de eletricidade proveniente de fontes de ER. Segundo a Figura 5, a produção total mundial demonstrou um aumento significativo, passando dos 2.059 *Terawatt-hora* (TWh) em 1985 para os 7.931 TWh em 2021.

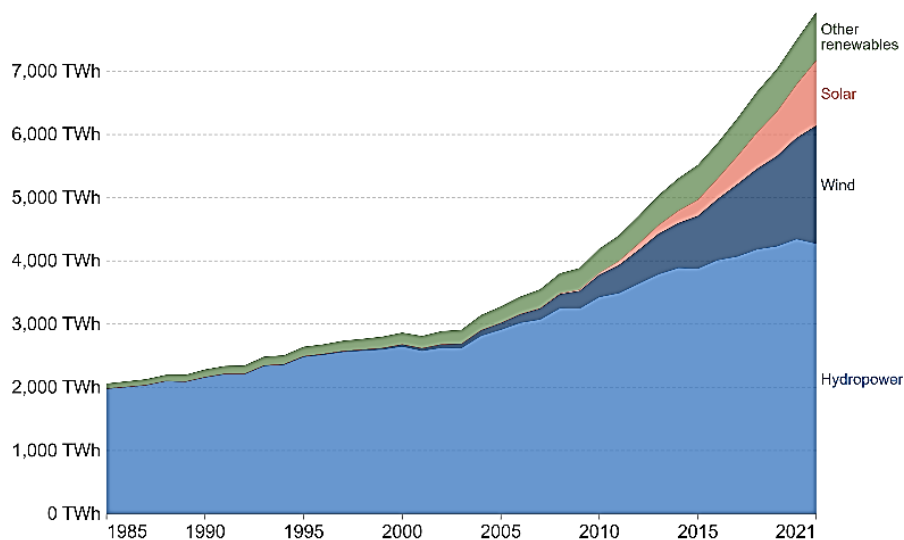


Figura 5 - Energy production by renewable energy source in the world

Fonte: Ritchie *et al.* (2022)

Segundo Ang *et al.* (2022), a existência de determinadas limitações tem dificultado e atrasado uma incorporação ainda mais rápida de fontes de energia isentas de emissões de GEE para a produção de energia. Algumas das limitações associadas aos sistemas de ER são: a intermitência, o alto custo inicial e o facto de nem todas as regiões do mundo disporem de condições ambientais favoráveis para o aproveitamento dessas energias (Ang *et al.*, 2022). Ao contrário das necessidades de consumo, as energias solar e eólica são fontes intermitentes, ou seja, não têm capacidade para gerar eletricidade de forma interrupta. Não só variam ao longo do dia como variam sazonalmente. Posto isto, para garantir uma energia constante seria preciso obter uma elevada quantidade de energia dos locais onde é possível produzi-la e armazená-la e/ou transportá-la para onde fosse necessária. Isso implicaria um maior número de sistemas de armazenamento e de linhas elétricas instaladas. Como tal, o armazenamento, transmissão e distribuição seriam processos mais demorados e dispendiosos. Por conseguinte, o preço final da eletricidade seria afetado. Atualmente, já existem algumas tecnologias de armazenamento de energia, por exemplo as baterias, que permitem reduzir o impacto dessa intermitência. Contudo, ainda não conseguem satisfazer totalmente as necessidades de procura, pelo que precisam de ser aperfeiçoadas. Além disso, o elevado custo é ainda um problema que persiste nestas tecnologias.

Ao longo das últimas décadas, tem-se assistido a uma melhoria nos sistemas de extração, conversão e distribuição de energia gerada por combustíveis fósseis reduzindo muito o seu custo. Contudo, esse valor não reflete os custos ambientais, ou seja, os danos económicos que são causados pelo aquecimento do planeta. Quanto às ER, a crescente preocupação ambiental tem afetado positivamente os custos, isto é, na sua maioria, sofreram uma queda considerável na última década (Tabela 2). De acordo com Taylor *et al.* (2022), o exemplo mais evidente é o da energia solar fotovoltaica, em que a descida foi de tal forma significativa que já atingiu valores inferiores ao do combustível fóssil.

Tabela 2 - Variação do Custo Nivelado de Energia (LCOE)<sup>7</sup> (2021 USD/kWh) por tipo de ER

Tipo de ER	LCOE (2021 USD/kWh)		
	2010	2021	Variação (%)
Bioenergia	0.078	0.067	-14%
Energia geotérmica	0.050	0.068	34%
Energia hídrica	0.039	0.048	24%
Energia solar fotovoltaica	0.417	0.048	-88%
Energia solar térmica	0.358	0.114	-68%
Energia eólica onshore	0.102	0.033	-68%
Energia eólica offshore	0.188	0.075	-60%

Fonte: Adaptado de IRENA (2022)

<sup>7</sup> “Indicador económico que traduz o custo do sistema de geração de energia, incluindo todos os custos ao longo da sua vida útil, como o investimento inicial, operação e manutenção, custo do combustível e custos de capital investido” (Nisa, 2014).

## 2. Setor dos transportes em Portugal

De acordo com a APA (2023), em 2021 o setor da energia representava cerca de 65,6% das emissões de GEE nacionais. Por sua vez, neste setor, os transportes representavam a maior fatia, com cerca de 28%, seguidos da produção e transformação de energia, com cerca de 15%. Ao analisar o Figura 6, é possível constatar que, sensivelmente até ao ano 2000 houve um crescimento contante das emissões de GEE dos transportes, que se seguiu de um período de estabilização. Embora no período entre 2005 e 2013 se tenha registado um decréscimo das emissões, entre 2013 e 2019 verificou-se uma inversão da tendência. Em 2020, os valores baixaram significativamente atingindo os 14,8 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e (tCO<sub>2</sub>e). Porém, é de sublinhar que este setor foi o que mais sentiu o impacto das medidas adotadas como resposta ao surto pandémico provocado pelo vírus SARS-COV-2. Com o retorno progressivo da sociedade à normalidade, o nível de emissões voltou a aumentar em 2021. É ainda de notar que este setor é dominado em grande parte pelo transporte rodoviário, daí se verificarem emissões tão elevadas nesse subsetor. Os transportes rodoviários são, portanto, um dos principais responsáveis pelas alterações climáticas, associadas à utilização de combustíveis fósseis.

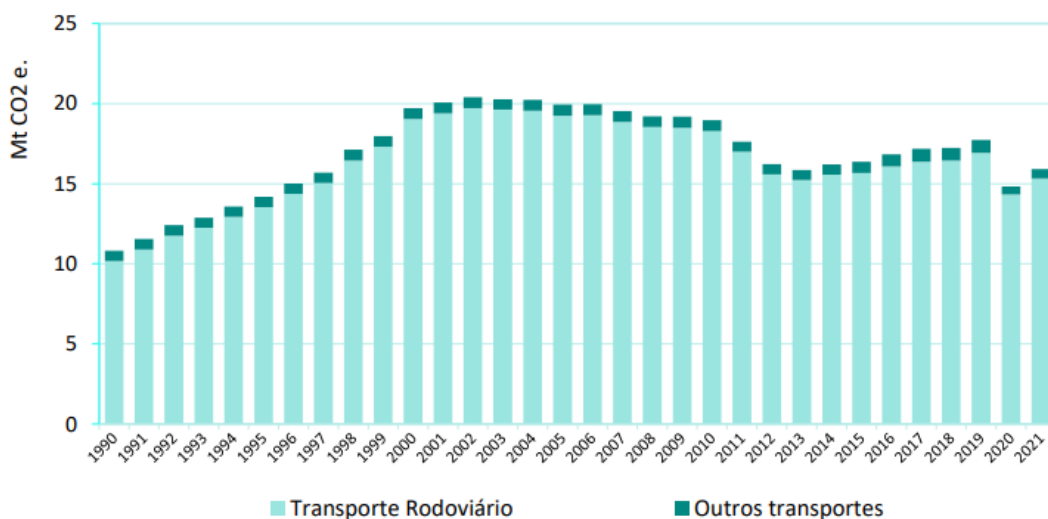


Figura 6 - Evolução das emissões dos transportes em Portugal

Fonte: APA (2023)

Atualmente, os veículos desempenham um papel essencial nas atividades diárias e nas rotinas da população não só a nível pessoal como no contexto empresarial, resultando numa dependência significativa. Além disso, o facto da grande maioria da população portuguesa viver em áreas urbanas, aliado à flexibilidade dos transportes individuais e à oferta nem sempre adequada do transporte coletivo de passageiros, tem contribuído para um rápido aumento na quantidade de veículos particulares ligeiros em circulação. Consequentemente, existe um acréscimo significativo das deslocações. No seguimento desses factos, surgem dois fenómenos preocupantes, a poluição sonora e o congestionamento de tráfego no acesso às cidades e ao centro das mesmas. São consequências cujo impacto na qualidade de vida e na economia é negativo. Traduz-se, entre outros aspetos, no aumento da sinistralidade, menor qualidade ambiental, incomodidade e insegurança, degradação da acessibilidade e custos energéticos, sociais e ambientais mais elevados. Além disso, a baixa velocidade de circulação é também um dos atuais problemas que afeta a mobilidade urbana (Pinto, 2020).

A dependência de transportes individuais acarreta também um desafio relacionado com o alto consumo de energia, agravado pelo crescimento demográfico. No sentido de inverter essa tendência, tem sido feito um esforço para tornar o setor dos transportes mais eficiente e menos dependente de combustíveis poluentes, através de medidas que fomentam a inovação e o desenvolvimento tecnológico (Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020). Quer isto dizer que para um futuro sustentável deve existir concordância entre a transição energética e o setor dos transportes. Se por um lado se pretende promover o uso de ER, por outro tem de haver avanços tecnológicos que tornem os transportes mais eficientes e que utilizem combustíveis alternativos menos poluentes<sup>8</sup>. Além disso, a incorporação de veículos com melhor desempenho ambiental deve ser acompanhada pelo desenvolvimento das respetivas infraestruturas de abastecimento.

Outra possível solução para a redução do consumo de energia é promoção da mobilidade coletiva. Os transportes coletivos de passageiros desempenham um papel fundamental na rede de mobilidade urbana (Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020) pois aliviam o tráfego e reduzem as emissões de gases poluentes. Porém, a

---

<sup>8</sup> Combustíveis alternativos são “combustíveis ou fontes de energia que servem, pelo menos em parte, como substitutos das fontes de petróleo fóssil no fornecimento de energia para os transportes, e que têm potencial para contribuir para a sua descarbonização e para melhorar o desempenho ambiental do setor dos transportes” (Diretiva 2014/94/União Europeia [UE]).

escolha deste tipo de transportes implica a existência de uma oferta que satisfaça as necessidades dos seus utilizadores, reais e potenciais. Isso inclui não só a acessibilidade, facilidade de utilização e qualidade de serviço, como também a regularidade, fiabilidade, rapidez, segurança e informação adequada e disponível. A existência de uma boa qualidade de serviço pode influenciar e incentivar o uso destes transportes. Pelo contrário, uma qualidade inferior pode desencadear uma crescente utilização de transportes individuais. Assim, segundo a APA (n.d.-b), “este é um setor onde urge inverter a tendência crescente de emissões rumo à sua quase total descarbonização até 2050, até por ser dos sectores que apresentam maior potencial para a redução das emissões de GEE na década 2020-2030”.

## **2.1. Metas de redução de GEE**

Sendo Portugal um Estado-membro da UE, uma parte da CQNUAC e um país subscritor do Acordo de Paris, está vinculado aos objetivos e metas aí estabelecidos. A nível nacional, existem quatro instrumentos de política climática a ter em consideração no estudo das medidas de mitigação de emissões de GEE no setor dos transportes: o RNC 2050, a LBC, o PNEC 2030 e o ECO.AP, sendo este último apenas dedicado à AP.

Após o comprometimento do Estado português em assegurar a Neutralidade Carbónica até ao final de 2050, este traçou uma visão clara em relação à descarbonização profunda da economia nacional (Resolução do Conselho de Ministros n.º 107/2019). Foram identificados e registados tanto objetivos e metas como linhas de orientação e trajetos a seguir para alcançar a descarbonização em todos os setores da economia portuguesa. Assim, nos próximos 30 anos, Portugal pretende reduzir o total das suas emissões entre 85% a 90%, face a 2005. Numa perspetiva de médio prazo, isto é, até 2030, a meta delineada consiste apenas na redução das emissões entre 45% e 55%. No que respeita ao setor dos transportes, destaca como principais fatores de descarbonização (Resolução do Conselho de Ministros n.º 107/2019):

- “Mais eficiência e reforço dos sistemas de transporte público;
- Mobilidade ativa e suave;
- Maior eficiência, associada à mobilidade partilhada e aos veículos autónomos;
- Eletrificação;

- Biocombustíveis e hidrogénio”.

Reconhece ainda que até se atingir a neutralidade vão existir diversas barreiras e oportunidades, mas é um caminho necessário seguir.

O mais recente instrumento de combate às alterações climáticas em Portugal é a LBC (Lei nº 98/2021). Esta Lei veio reconhecer a situação de emergência climática e estabelecer um conjunto de objetivos e obrigações para os diferentes níveis de governação através do desenvolvimento de planos regionais e municipais de ação climática. Segundo o artigo 19º da mesma Lei, as medidas adotadas no horizonte de 30 anos, face aos valores de 2005, são:

- Até 2030, uma redução de, pelo menos, 55 %;
- Até 2040, uma redução de, pelo menos, 65 a 75 %;
- Até 2050, uma redução de, pelo menos, 90 %.

No setor dos transportes e da produção de energia, essa Lei salienta, entre outros aspetos, a importância da “descarbonização da produção de eletricidade, apostando nos recursos endógenos renováveis” e da “descarbonização da mobilidade, privilegiando o sistema de mobilidade em transporte coletivo, os modos ativos de transporte, a mobilidade elétrica e outras tecnologias de zero emissões”. Alguns dos princípios e medidas adotadas pelo Estado para reduzir as emissões de GEE nestes setores foram:

- Promoção do uso de transportes públicos e modos de transporte suaves, como a mobilidade pedonal e o uso de bicicletas;
- Incentivo à aquisição de automóveis elétricos, híbridos ou movidos a outros combustíveis que não emitam GEE e aumento da disponibilidade de infraestruturas de carregamento para esses veículos, limitando o fim da comercialização em Portugal de veículos ligeiros movidos exclusivamente a combustíveis fósseis até 2035;
- Redução da dependência de combustíveis fósseis e promoção o uso de combustíveis mais limpos, como biocombustíveis e gases renováveis;
- Promoção de tecnologias mais limpas e a implementação de medidas de eficiência energética, para reduzir o consumo de energia.

O PNEC 2030 adota a estratégia nacional da política climática apenas para o período de 10 anos após a sua aprovação, isto é, para o período de 2021 a 2030. Constitui

um instrumento fundamental de política energética e climática nacional durante a próxima década, visto que estabelece medidas de aplicação das metas definidas no RNC 2050. Internacionalmente, contribui de forma direta para os ODS-7 - Garantir o acesso a fontes de energia fiáveis, sustentáveis e modernas para todos e ODS-13 - Adotar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos da agenda 2030.

Os objetivos nacionais definidos para o horizonte 2030 são oito (Anexo 1). No entanto, para os setores com maior peso nas emissões, ou seja, para o setor dos transportes e da produção de energia, destacam-se os seguintes (Resolução do Conselho de Ministros nº 53/2020, p. 3):

- “Descarbonizar a economia nacional;
- Dar prioridade à eficiência energética;
- Reforçar a aposta nas energias renováveis e reduzir a dependência energética do País;
- Garantir a segurança de abastecimento;
- Promover a mobilidade sustentável”.

No setor dos transportes, este plano identifica a mobilidade sustentável e descarbonização do consumo de energia como as áreas de maior importância rumo à transição energética e à Neutralidade Carbónica, estabelecendo uma meta de redução das emissões em 40% até 2030, em relação a 2005. Prevê ganhos ambientais e melhorias significativas de eficiência nesse setor através da substituição progressiva de combustíveis fósseis por eletricidade, hidrogénio e biocombustíveis e do aprimoramento dessas alternativas sustentáveis. Outras medidas incidem: na aposta contínua no transporte público, com recurso a veículos de baixas emissões, promovendo e reforçando a mobilidade coletiva; promoção da produção de combustíveis renováveis alternativos e das respetivas infraestruturas de abastecimento; incentivo ao uso de bicicleta e outros modos de mobilidade suaves; e melhoria das infraestruturas pedonais.

O PNEC 2030 (Resolução do Conselho de Ministros nº 53/2020) salienta também que essas mudanças devem “começar nas instituições do Estado, liderando pelo exemplo na adoção de políticas inovadoras e ambiciosas” e que deve ser elaborado um “novo

programa de mobilidade sustentável para a AP para dar continuidade ao Eco.mob<sup>9</sup> e à persecução dos seus objetivos”.

Com vista à descarbonização na AP, foi elaborado o ECO.AP para o período até 2030 que também fixa objetivos para atingir uma mobilidade cada vez mais sustentável, incorporar fontes de ER e reduzir a intensidade energética. Assim, define que no âmbito da eficiência energética as entidades públicas devem reduzir os seus consumos de energia primária em 40% e no âmbito do autoconsumo “contribuir para que 10 % do consumo de energia seja abastecido através de soluções de autoconsumo com origem em fontes de energia renovável” (Resolução do Conselho de Ministros n.º 104/2020).

A Tabela 3 resume as metas gerais e do setor dos transportes que Portugal se propôs atingir até 2050 nos quatro instrumentos em vigor de combate às alterações climáticas. Porém, como a LBC é o instrumento mais recente, as metas do RNC 2050 e PNEC 2030 foram atualizadas pela LBC.

Tabela 3 - Metas de redução de emissões de GEE em Portugal

Metas	Até 2030	Até 2040	Até 2050	Instrumento
Reduzir emissões de GEE totais, em relação a 2005	55%	65% a 75%	90%	LBC
	45% a 55%	65% a 75%	85% a 90%	RNC2050
	45% a 55%	-	-	PNEC 2030
Reduzir emissões de GEE no setor dos transportes, em relação a 2005	40%	-	-	PNEC 2030
	40%	60%		ECO.AP

Fonte: Elaboração própria

## 2.2. Alternativas sustentáveis

A intensificação dos problemas de saúde e ambientais, em especial nas áreas urbanas, tem levado à exploração de alternativas sustentáveis, essenciais para a mitigação das alterações climáticas (Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020). Com a

<sup>9</sup> Programa de Mobilidade sustentável para a AP.

descarbonização e transição energética nos diversos setores prevê-se uma melhoria significativa na qualidade do ar, que trará efeitos positivos à saúde humana, principalmente no que diz respeito a doenças respiratórias. Como tal, no setor dos transportes é cada vez mais relevante uso de alternativas aos combustíveis fósseis.

Atualmente, existe um amplo leque de combustíveis/energias alternativas no mundo devido às recentes evoluções tecnológicas nesta área. Contudo, apenas serão abordadas quatro neste trabalho: gás natural, biocombustíveis, eletricidade e hidrogénio. A sua seleção teve em consideração a estratégia do país na promoção da mobilidade sustentável, ou seja, a substituição progressiva de combustíveis fósseis por eletricidade, biocombustíveis avançados e hidrogénio. Já a escolha do gás natural deveu-se ao seu importante reconhecimento na transição para um sistema energético de base renovável (Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020). É importante ressaltar que em Portugal já existem veículos movidos a esses combustíveis alternativos (sub-subcapítulos 2.2.1., 2.2.2., 2.2.3. e 2.2.4.), tornando-os uma escolha viável no país.

### **2.2.1. Autocarros a gás natural**

O gás natural deriva de uma fonte de origem natural e esgotável, sendo caracterizado como um combustível fóssil. Consiste numa mistura estável de gases em que o principal constituinte é o CH<sub>4</sub> (M. Khan *et al.*, 2015). Embora não seja livre de emissões de GEE, é um combustível alternativo que representa uma opção viável às necessidades crescentes dos países que querem mudar para combustíveis mais sustentáveis. As principais características que têm aumentado o interesse pela sua utilização no setor dos transportes têm sido: a ampla disponibilidade, baixo custo operacional e o facto de ser ecológico, devido à sua limpa combustão (M. Khan *et al.*, 2015).

No que diz respeito à disponibilidade, a Associação Portuguesa do Veículo a Gás Natural (APVGN) (n.d.) afirma que as suas reservas são significativas e com grande dispersão em termos geográficos. Contudo, Will (2009) contraria, em parte, esse facto ao afirmar que é preocupante “saber que muitos dos poços de gás natural, mesmo os mais recentes, estão-se a esgotar num tempo recorde (alguns deles em menos de um ano)”. Uma vez que Portugal não possui reservas de gás natural, precisa de o importar. Após a chegada do gás a Portugal através de gasodutos ou navios, é diretamente introduzido na Rede

Nacional de Transporte de Gás Natural, operado pela Redes Energéticas Nacionais Gasodutos. Isto significa que foi necessário apostar nas infraestruturas de distribuição e sistemas de abastecimento, apesar de ser um investimento complexo e dispendioso.

Por se tratar de um gás, só pode ser armazenado num veículo no estado comprimido ou liquefeito, sendo a primeira opção a mais comum para autocarros (Beer *et al.*, 2002). Segundo Hao *et al.* (2016) e Petrescu *et al.* (2018), a principal diferença entre veículos a Gás Natural Comprimido (GNC) e Gás Natural Liquefeito (GNL) está na forma como o gás natural é armazenado. Nos veículos a GNL, o gás é armazenado num tanque de isolamento térmico a baixa temperatura e a uma pressão semelhante à atmosférica. Já nos veículos a GNC, o armazenamento é feito à temperatura ambiente e a uma elevada pressão. De acordo com os mesmos autores, a tecnologia de propulsão a GNL é aplicada 70% em veículos pesados de mercadoria e 30% em veículos pesados de passageiros enquanto a propulsão a GNC é maioritariamente usada em veículos pesados de passageiros. Esta situação é explicada pelo elevado preço dos veículos movidos a GNL e das respetivas infraestruturas de abastecimento em comparação com os veículos a GNC. Além disso, a densidade energética do GNL é superior à do GNC. Assim, os veículos a GNC percorrem uma menor distância com a mesma quantidade de combustível, o que os torna mais adequados para veículos que circulem maioritariamente em zonas urbanas, como é o caso dos autocarros (Arefin *et al.*, 2020).

Segundo Chandler *et al.* (2006), o valor de aquisição de um veículo a gás natural é superior ao de um veículo movido a um combustível convencional, muito devido ao elevado custo dos tanques de armazenamento. No entanto, embora o consumo seja maior, a poupança no custo de combustível, devido aos baixos custos de produção, garante um retorno de investimento rápido. Além disso, os custos de manutenção e operação são ligeiramente inferiores aos dos veículos a gasóleo ou gasolina (cerca de 12%).

O tempo de reabastecimento é também uma desvantagem pois é mais longo do que nos veículos a gasóleo ou a gasolina. Este problema, associado ao ainda insuficiente número de postos de abastecimento leva, por vezes, a longas filas de espera. Atualmente, segundo a APVGN (n.d.), Portugal conta com um total de 19 postos de abastecimento de GNC e GNL.

A autonomia é um desafio no desenvolvimento e crescimento do gás natural como combustível para transportes. Embora não seja considerado um problema crítico, uma vez

que depende da capacidade dos reservatórios instalados, gera um obstáculo no seu progresso. Segundo Cardin *et al.* (2013), 1 litro de gasóleo equivale a 5 litros de GNC a 200 bar e 1,8 litros de GNL a -162°C. Como tal, para que a autonomia seja equivalente à de um autocarro a gasóleo, o depósito de gás tem de ser maior.

Ambientalmente, um veículo a gás natural é menos poluente do que um veículo movido a gasolina ou a gasóleo, podendo reduzir a emissão de GEE em mais de 20% (M. Khan *et al.*, 2015).

### **2.2.2. Autocarros a biocombustíveis**

Os biocombustíveis<sup>10</sup> têm sido amplamente explorados como uma alternativa promissora no setor dos transportes devido às suas baixas emissões de GEE em comparação com os combustíveis fósseis convencionais. Ainda que contribuam para a mitigação das mudanças climáticas, é importante ressaltar que não estão completamente isentos de emissões ao longo do seu ciclo de vida. Quer isto dizer que essas emissões podem ocorrer em qualquer uma das etapas desde a produção à sua utilização. Segundo Alalwan *et al.* (2019), podem ser destacadas 4 gerações de biocombustíveis, cada uma com características e tecnologias diferentes. Estas gerações representam os avanços na produção e no uso de biocombustíveis, visando aumentar a eficiência, a sustentabilidade e a redução das emissões de GEE.

Os biocombustíveis de primeira geração são obtidos a partir de biomassa combustível, como o amido (de batata, trigo, cevada e milho), açúcares (de cana-de-açúcar e beterraba), gorduras animais ou óleos vegetais (Sladkowski, 2020). Inicialmente, demonstraram um potencial promissor em termos ambientais, mas, ao longo do tempo, foram surgindo preocupações significativas em relação ao elevado consumo de recursos naturais e ao uso de culturas alimentares como matéria-prima. A produção intensiva e em larga escala requer quantidades consideráveis de fertilizantes e água, bem como grandes extensões de terra para cultivo que levam à degradação dos solos. Além disso, têm-se levantado questões sobre os impactos dessa produção nas terras agrícolas, biodiversidade e disponibilidade de alimentos, para além do previsível aumento do preço dos produtos

---

<sup>10</sup> Biocombustível é o combustível líquido ou gasoso para transportes, produzido a partir de biomassa, resíduos agrícolas, óleos vegetais e gorduras animais (Decreto-Lei n.º 89/2008).

alimentares. A segunda geração procura superar algumas limitações da primeira geração, utilizando matérias-primas não alimentares e disponíveis abundantemente, como resíduos agrícolas, madeira e plantas não combustíveis. É, portanto, baseada em alternativas renováveis mais eficientes. No entanto, os subprodutos agrícolas fornecem uma quantidade limitada e insuficiente para fazer face às necessidades mundiais. A terceira geração está relacionada com produção de biocombustíveis a partir de microrganismos, como as algas. As algas têm um potencial de crescimento rápido, alta produtividade de biomassa, alto teor de óleo, ajudam a reduzir o CO<sub>2</sub>, exigem pouco espaço para crescer, além de poderem ser cultivadas em ambos os ambientes artificiais e/ou naturais. Os biocombustíveis de algas têm a vantagem de não competir com a produção de alimentos e de serem produzidos de forma mais sustentável. Porém, os processos usados para a sua extração são caros e o resultado obtido é um pouco instável, pois é mais volátil, especialmente em altas temperaturas, e, portanto, é mais propenso à degradação. A quarta geração é uma área emergente de pesquisa e desenvolvimento. Concentra-se na modificação genética de microrganismos, como as algas, leveduras e fungos, e na sua utilização para produção de biomassa. Além da modificação genética, algumas tecnologias de quarta geração envolvem processos avançados de conversão de biomassa para produzir biocombustíveis de forma mais eficiente e com menor impacto ambiental. A Tabela 4 mostra os tipos de matérias-primas e produtos finais das diferentes gerações de biocombustíveis.

Tabela 4 - Types of raw materials and end products of different generations of biofuels

<b>Generations of biofuels</b>	<b>Raw material</b>	<b>Biofuels</b>
<b>First generation</b>	Sugar beet, sugar cane, corn, wheat, potato, soybean, sunflower, rapeseed, palm oil, animal fats, vegetable oil	Bioethanol, biodiesel, biomethane
<b>Second generation</b>	Wood waste, energy crops, straw stalks, corn stover, sugar cane, organic wastes	Bioethanol, biobutanol, biodiesel, synthetic fuels
<b>Third generation</b>	Algae	Biodiesel, hydrogen, bioethanol, biomethane, synthetic fuels
<b>Fourth generation</b>	Algae, other microbes, by-products, carbon dioxide	Bioethanol, hydrogen

Fonte: Sladkowski (2020)

Como mencionado anteriormente, existem alguns desafios associados aos biocombustíveis que têm impedido a sua ampla expansão. Entre eles estão a disponibilidade de matéria-prima em larga escala, a viabilidade económica da produção, degradação dos solos e a segurança alimentar. Contudo, Sladkowski (2020, p. 115-162) afirma que além da redução das emissões de GEE, há evidências substanciais de que a produção de biocombustíveis traz inúmeros benefícios. Pode gerar oportunidades económicas em áreas rurais, estimulando a criação de emprego, o desenvolvimento agrícola e beneficiando os agricultores por meio da utilização de resíduos de culturas alimentares ou outras biomassas. Como tal, embora existam obstáculos a serem superados, os biocombustíveis continuam a ser uma das alternativas aos combustíveis fósseis a curto prazo.

No setor dos transportes, os biocombustíveis podem ser utilizados em motores de combustão interna, quer seja na sua forma pura ou em misturas (em pequenas percentagens) com combustíveis convencionais. Essa versatilidade permite a adoção gradual dos biocombustíveis sem a necessidade de grandes modificações na infraestrutura existente (Civitas, 2013). Segundo N. Khan *et al.* (2021), atualmente, os mais comuns para a utilização em veículos de transporte rodoviário são os biocombustíveis líquidos, como o bioetanol e biodiesel. O primeiro é mais adequado para motores movidos a gasolina e o segundo para motores movidos a gasóleo. A nomenclatura utilizada para identificar as misturas de biocombustíveis é padronizada da seguinte maneira: para o biodiesel, utiliza-se a designação BXX, e para o bioetanol, utiliza-se a designação EXX. Nesse sistema, XX representa a percentagem em volume do biocombustível presente na mistura (Reid *et al.*, 2011; Vultos, 2012). Em Portugal, já está a ser observada uma mudança gradual no setor de combustíveis. Dois exemplos notáveis são as empresas PRIO e REPSOL que estão a optar por substituir o gasóleo simples por biodiesel nos seus postos.

Existem também outros biocombustíveis utilizados, como o biometano, biobutanol, combustíveis sintéticos, entre outros. Entre as opções disponíveis, o biometano, um biogás, tem-se destacado como uma alternativa promissora, emergindo como uma opção de destaque, à parte do biodiesel e do bioetanol (Sladkowski, 2020). Apresenta um melhor rendimento energético comparativamente ao biodiesel e bioetanol, mas a sua presença no mercado é bastante limitada e os impactos ambientais associados à possível fuga do gás durante a produção, armazenamento e transporte são muito superiores à fuga de CO<sub>2</sub> (Sladkowski, 2020).

### 2.2.3. Autocarros elétricos a baterias/ Autocarros 100% elétricos (BEB)

Os BEB são uma solução promissora no setor de transporte público, com benefícios significativos em termos de sustentabilidade. São veículos movidos exclusivamente por motores elétricos alimentados por baterias de alta capacidade. A eletrificação dos autocarros é, portanto, uma forma eficiente de eliminar completamente a dependência de combustíveis fósseis e reduzir as emissões de GEE e poluentes do ar, desde que a eletricidade seja proveniente de fontes de ER. Embora as emissões durante a sua utilização sejam nulas, Fernandes (2022) considera que se incluirmos o processo de produção e abate só é possível verificar reduções nas emissões até 75%. Como desvantagens, a integração desses veículos apresenta desafios devido à sobrecarga a rede elétrica.

Segundo a informação recolhida junto da Associação de Utilizadores de Veículos Elétricos (UVE) (Ramalhete, 2023), os números relativos às vendas de veículos 100% elétricos na categoria de Pesados de Passageiros correspondem aos enunciados na Tabela 5, totalizando 191 veículos no final de 2022.

Tabela 5 – Número de veículos 100% elétricos da categoria Pesados de Passageiros vendidos em Portugal, anualmente

<b>Veículos 100% elétricos</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>
Pesados passageiros	2	0	30	34	23	38	64

Fonte: Com base na entrevista a Ramalhete (2023)

Os BEB requerem infraestruturas de carregamento específicas e distintas dos veículos ligeiros (Forrest *et al.*, 2020), o que os torna menos flexíveis do que os autocarros convencionais a gasóleo. Tratando-se de infraestruturas com menor disponibilidade do que os postos de abastecimento convencionais, são necessários maiores investimentos (Fernandes, 2022), que nem todas as empresas estão dispostas a fazer. Em Portugal, a ausência de um requisito que exija o registo dos postos de carregamento para autocarros na rede pública impede que os cidadãos em geral tenham acesso aos dados. No entanto, é

conhecido que os municípios que possuem frotas de BEB têm os seus próprios postos de carregamento.

Perumal *et al.* (2022) e Chen *et al.* (2018) identificam diversos modos de carregamento possíveis para os BEB:

- *Slow plug-in chargers*: carregadores de baixa potência que permitem que os veículos sejam ligados a uma fonte de energia durante um longo período, geralmente durante a noite. Apesar das várias horas de carregamento, são uma escolha bastante econômica;
- *Fast plug-in chargers*: carregadores de alta potência que permitem o carregamento dos veículos num curto período de tempo. Geralmente estão localizados em terminais de linha e paragens de autocarros, onde têm um tempo de paragem limitado para recarregar;
- *Pantograph chargers*: carregadores que utilizam um pantógrafo para fornecer energia elétrica aos autocarros. É um equipamento que se conecta ao veículo, enquanto está parado numa posição específica, permitindo um carregamento rápido e eficiente. Têm um elevado custo de instalação, uma potência bastante elevada e um tempo de carregamento limitado ao tempo de embarque e desembarque de passageiros;
- *Charging lanes (Inductive charges)*: faixas ou pequenas zonas que utilizam tecnologia de carregamento sem fios (wireless) para transferir energia para os veículos. Normalmente, estão associadas a sistemas de trânsito de elevada frequência e a baixa velocidade de operação.
- *Overhead contact lines*: sistema de alimentação contínua usado para fornecer energia aos autocarros enquanto estão em movimento. As infraestruturas são compostas por cabos aéreos suspensos sobre as vias por onde os autocarros circulam e os autocarros são equipados com dispositivos no teto que se conectam a essas linhas para receber eletricidade. Permite que os autocarros sejam alimentados continuamente durante a operação, o que elimina a necessidade de carregar baterias. Por outro lado, não se podem desviar das rotas estabelecidas, eventuais interrupções no fornecimento de energia podem afetar a operação e a área das infraestruturas pode ser muito grande, o que requer uma maior manutenção;

- *Battery swapping*: método em que as baterias dos veículos são substituídas por outras totalmente carregadas em estações de troca. Segundo o estudo realizado por Chen *et al.* (2018) tem uma maior utilização em sistemas de trânsito que operam a altas velocidades e a uma frequência e distância moderadas. Segundo o mesmo autor, embora permita um menor tempo de inatividade durante o processo de carregamento, é importante destacar que requer um investimento adicional em baterias. Acrescentou ainda que é comum as baterias serem fornecidas por fabricantes diferentes, o que pode tornar incompatível a troca de baterias, e que essa falta de padronização pode levar a diferenças na degradação e desempenho das baterias, resultando em autonomias variadas para os veículos.

O modo de carregamento mais comum para os BEB é o *slow plug-in* durante a noite, por ser a escolha mais económica. Assim, as baterias precisam ter uma capacidade suficiente para atender às suas necessidades diárias até à hora planeada para o carregamento. Uma bateria de maior capacidade permite realizar viagens mais longas sem a necessidade frequente de recarregar, mas também resulta num maior consumo de energia devido ao aumento do peso do autocarro. Além disso, afeta o número de passageiros a transportar, pois uma bateria maior retira espaço dentro do autocarro.

De acordo com Fernandes (2022), além da redução da poluição do ar, ruído e vibrações a bordo, os BEB têm vantagens adicionais em termos de custo de combustível e manutenção (Anexo 2). Em contrapartida, a adoção destes veículos pode ser desafiante devido ao alto investimento inicial. Segundo o mesmo autor, o preço de um BEB pode ser mais do dobro de um autocarro convencional equivalente, sendo que essa diferença é principalmente atribuída ao custo das baterias. No entanto, salienta que esse valor tem diminuído significativamente nos últimos anos devido à redução no custo de produção das baterias e aos incentivos fiscais disponíveis. Como tal, acredita que estes autocarros podem ser uma opção viável em substituição dos autocarros convencionais.

Atualmente, a maioria das frotas de BEB é pequena, mas espera-se um aumento significativo futuro. Tal situação resultará num consumo de energia mais elevado durante o período noturno. Para atenuar essa sobrecarga pode-se recorrer às ER, como por exemplo, aos painéis fotovoltaicos ou turbinas eólicas. Se os autocarros forem carregados durante o dia, a produção de energia dos painéis e/ou turbinas pode reduzir o pico de consumo de energia. Se o carregamento ocorrer durante a noite e se se quiser evitar o uso de energia da

rede, Weil *et al.* (2020, p.75) sugere a implementação de uma bateria estacionária<sup>11</sup> onde se possa armazenar o excedente de produção dos painéis fotovoltaicos e das turbinas eólicas durante o dia para utilizá-lo à noite.

As baterias são dispositivos eletroquímicos que convertem energia química em energia elétrica através de reações químicas. Podem ser compostas por diferentes materiais, originando diferentes tipos de baterias com diferentes aplicações e utilidades, consoante a quantidade de energia que se pretende armazenar e do espaço disponível. Atualmente, estão a ser conduzidos diversos estudos comparativos entre as diferentes características das baterias, a fim de identificar as mais adequadas para os veículos elétricos. Análises essas que levam em consideração fatores como o desempenho, custo, vida útil e segurança das baterias. Um estudo realizado por Yong *et al.* (2015) comparou nove tipos de baterias (Anexo 3), destacando que algumas delas foram sendo substituídas por diversas razões, tais como a baixa densidade energética, efeito de memória, toxicidade, alta perda de energia, entre outros. No entanto, o estudo ressalta que as baterias à base de lítio são as mais predominantes no mercado, apesar de não serem consideradas uma tecnologia totalmente madura. Além disso, o estudo menciona que existem outras baterias em fase experimental que são promissoras e que podem vir a competir com um veículo a combustão interna. Nesse sentido, nenhum tipo de bateria foi excluído como um potencial candidato para a utilização em baterias de veículos elétricos, embora a mais comum seja a bateria de ião de lítio.

A bateria de ião de lítio é um sistema de armazenamento que requer baixa manutenção, o peso é relativamente baixo, a densidade energética é elevada, tem alta eficiência, longo ciclo de vida e não tem efeito de memória. Šimić *et al.* (2021) aponta para uma vida útil de, aproximadamente, 5 a 15 anos para este tipo de bateria, estando ciente que a longevidade das baterias é ainda um aspeto bastante incerto. É, no entanto, uma tecnologia cara, com baixo desempenho em altas temperaturas, a descarga completa danifica as células e envolve risco de rutura e explosão, pelo que requer um circuito de proteção (Šimić *et al.*, 2021; Mitali, 2022).

A utilização de baterias de ião de lítio em dispositivos como os telemóveis, os computadores portáteis e os veículos elétricos é uma realidade e uma necessidade

---

<sup>11</sup> As baterias solares ou estacionárias são equipamentos que acumulam energia para posterior consumo. Normalmente são indicadas para sistemas como a energia eólica e fotovoltaica.

crescente. Assim, do ponto de vista de C. Costa *et al.* (2021) a adoção da reciclagem e de práticas sustentáveis na produção é crucial para mitigar os impactos ambientais. Atualmente, apenas 10% dessas baterias são recicladas (C. Costa *et al.*, 2021). As restantes baterias (90%) são descartadas em aterros sanitários, causando graves questões ambientais. A não reciclagem implica a continuação da extração em grande escala dos recursos naturais usados no fabrico dessas baterias e, como consequência, uma maior poluição do solo, da água e um aumento das emissões de GEE.

#### **2.2.4. Autocarros elétricos a hidrogénio (FCEB)**

Nos últimos anos o hidrogénio tem atraído muita atenção devido ao seu potencial para desempenhar um papel importante na descarbonização dos diversos setores. É o primeiro elemento químico da tabela periódica, é leve, não tem cheiro, não tem cor, é invisível e é o elemento mais abundante no universo (mais de 70% da matéria-prima visível) (United Nations Industrial Development Organization, 2021).

Dependendo da sua fonte, o hidrogénio pode ter emissões quase nulas na sua produção (Apêndice 1). A utilização de hidrogénio verde nos transportes pode ser muito ecológica. Não só pode ter emissões quase nulas durante a produção como durante a operação, visto que a sua única emissão é vapor de água (Nouni *et al.*, 2021).

Na estratégia de Portugal para a próxima década, o hidrogénio foi destacado como o principal gás renovável para desempenhar a descarbonização de setores como a indústria e o transporte (Resolução do Conselho de Ministros n.º 63/2020). A introdução deste elemento energético requer um grande investimento nas infraestruturas, cuja complexidade é grande e dispendiosa. Na estratégia nacional está prevista a produção de hidrogénio renovável em Sines que, posteriormente, será injetado na rede de gás natural, distribuído por camião-cisterna para os futuros postos de abastecimento do país ou exportado através da via terminal em Sines. Antevê ainda a instalação de 50 a 100 estações de carregamento em Portugal até 2030 e entre 1.000 e 1.500 estações até 2050. Quanto aos veículos pesados de passageiros, pressupõe a circulação de 200 a 350 veículos a hidrogénio até 2030 e de 4.500 a 6.000 veículos até 2050 (Resolução do Conselho de Ministros n.º 63/2020, p.75).

O desenvolvimento de uma economia baseada no hidrogénio carece também de soluções tecnológicas que permitam melhorar o seu desempenho e reduzir os custos, para

se tornar mais competitivo. Neste momento, os FCEB são, de longe, os que têm maior custo comparativamente aos elétricos ou aos movidos a combustíveis fósseis (Sayer *et al.*, 2022). A sua autonomia já chega aos 400 quilómetros (km) entre carregamento e o tempo de carregamento é de aproximadamente 9 minutos (CaetanoBus, n.d.). Uma das suas vantagens é a possibilidade de produção descentralizada e a partir de qualquer região.

O facto desta tecnologia ser relativamente recente e ainda pouco desenvolvida leva a que as comparações económicas possam vir a ser alteradas rapidamente. Segundo o estudo realizado por Fernandes (2021), estes autocarros são os que apresentam maiores custos de manutenção. Já o estudo realizado por Sayer *et al.* (2022) menciona que o custo de manutenção de um FCEB é ligeiramente mais barato que um autocarro a gasóleo.

### **2.3. Apoios ao investimento**

A crescente preocupação com as alterações climáticas tem impulsionado a transição do país para uma economia mais sustentável. A adoção de práticas e tecnologias que reduzam o impacto ambiental, promovam a eficiência energética, contribuam para a mitigação das alterações climáticas e, conseqüentemente, a qualidade de vida nas cidades tem sido cada vez mais frequente. A disponibilidade de apoios financeiros tem demonstrado ser fundamental para acelerar esse processo. Apesar dos vastos apoios disponíveis tanto a nível nacional como internacional, no contexto português destacam-se dois programas: o Plano de Recuperação e Resiliência (PRR), com apoio do Fundo Ambiental, e o Portugal 2030, com apoio de vários fundos europeus.

O Fundo Ambiental, gerido pela Secretaria-Geral do Ministério do Ambiente e Ação Climática, é uma fonte de financiamento cuja finalidade é “apoiar políticas ambientais e de ação climática para a prossecução dos objetivos do desenvolvimento sustentável, contribuindo para o cumprimento dos objetivos e compromissos nacionais e internacionais” (Fundo Ambiental, n.d.). Uma das suas principais atribuições é conceder apoios a entidades, atividades ou projetos que promovam a sustentabilidade ambiental em diversas áreas. Entre estas destacam-se as componentes C7, C13, C14 e C15, ou seja, infraestruturas, eficiência energética em edifícios, hidrogénio e renováveis e mobilidade sustentável, respetivamente. O PRR é um programa de financiamento e investimento lançado pelo governo português que tem como orientação os ODS das Nações Unidas. No

âmbito do PRR, existem recursos destinados à renovação das frotas, à redução da dependência do transporte individual rodoviário e à promoção da mobilidade sustentável através da aquisição de veículos mais limpos e dos respetivos postos de abastecimento/carregamento. Porém, é de ressaltar que a nova abordagem do Fundo Ambiental não inclui o financiamento de veículos a GNC. A prioridade está na promoção de uma mobilidade ainda mais sustentável, com a adoção de veículos 100% elétricos e elétricos a hidrogénio.

Além do Fundo Ambiental, existem também fundos europeus disponíveis para apoiar a mobilidade sustentável. O Portugal 2030, cuja verba é oriunda de fundos europeus, é um plano estratégico de desenvolvimento do país até 2030. Destina-se a impulsionar a transição para uma economia mais verde e sustentável através da atribuição de financiamentos a 12 programas distintos, distribuídos por áreas de atividade e por regiões. No que respeita aos programas temáticos, o Sustentável 2030 e COMPETE 2030 são os que estão especialmente voltados para a transição energética e na promoção da sustentabilidade dos recursos e da mobilidade. O POSEUR (Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos) era um dos 16 programas operacionais do Portugal 2020, com um período de execução de 2014 a 2020.

### 3. Metodologia

#### 3.1. Estratégia de Investigação

Tanto a pesquisa quantitativa como a pesquisa qualitativa são projetadas para abordar um tipo específico de investigação. Segundo Creswell (2009, p.49-70), o método quantitativo pode ser entendido como uma estratégia de pesquisa que se destaca pela quantificação na recolha e análise de dados. Implica, portanto, uma abordagem predominantemente dedutiva. Já o método qualitativo pode ser interpretado como uma estratégia de pesquisa que geralmente enfatiza as palavras em vez da quantificação na recolha e análise de dados. Implica, portanto, uma abordagem predominantemente indutiva<sup>12</sup>. Segundo o mesmo autor, por vezes, os investigadores procuram um outro tipo de abordagem para colmatar as vulnerabilidades de ambas as estratégias. Perante essas situações, recorrem às denominadas estratégias mistas. É um termo amplamente utilizado nos dias de hoje para referir à combinação de estratégias quantitativas com estratégias qualitativas.

Bryman (2012, p. 631-634) refere que à medida que o interesse pela pesquisa de métodos mistos cresceu, surgiram várias formas de classificá-la. Uma das quais consiste em classificá-las segundo dois critérios:

- A decisão prioritária, isto é, estabelecer a principal ferramenta para a recolha de dados (quantitativa, qualitativa ou ambas com o mesmo peso); e
- A decisão de sequência, ou seja, identificar que método precede qual.

Com base nestes critérios foram gerados nove tipos possíveis (Figura 7). Nesta classificação, as palavras qualitativo e quantitativo foram abreviadas para "qual" e "quan", respetivamente. As letras maiúsculas indicam a prioridade da recolha de dados enquanto as letras minúsculas representam um papel mais subsidiário. Já as setas referem-se à sequência. Assim, QUAL→quan, por exemplo, significa que a recolha de dados qualitativos foi a principal abordagem para obtenção de dados e que foi realizada antes dos dados

---

<sup>12</sup> Entende-se por abordagem indutiva, um método que envolve a generalização como um produto posterior à recolha de dados particulares (Bryman, 2012, p. 24-27). Inicia-se com a observação de factos ou fenómenos de casos concretos que retratem a realidade, visando a compreensão das suas causas. Em seguida, é realizada uma comparação com o objetivo de identificar todas as relações existentes entre eles. Por fim, são generalizadas as relações verificadas entre os factos ou fenómenos estudados.

quantitativos. O sinal “+” significa que a recolha de dados quantitativos e qualitativos foi realizada simultaneamente.

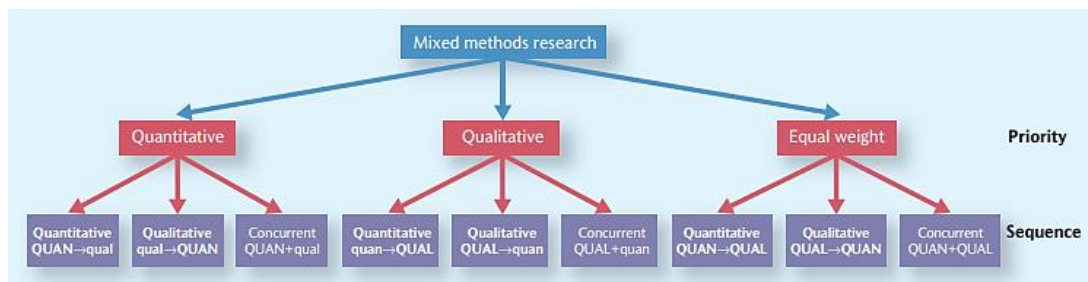


Figura 7 – Ranking of mixed methods in terms of priority and sequence

Fonte: Bryman (2012)

Após a investigação das distintas estratégias de investigação, optou-se por utilizar a estratégia mista QUAL+quan, isto é, estratégia em que a recolha de dados qualitativos e quantitativos ocorreu mais ou menos de forma simultânea. No entanto, é dada uma maior ênfase aos dados qualitativos.

### 3.2. Desenho de Pesquisa

Embora não exista nenhuma fórmula que indique qual a estratégia certa a aplicar, existem alguns investigadores que permitem identificar qual o método que mais se adequa às questões pretendidas. Segundo Yin (2001), “um estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenómeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenómeno e o contexto não estão claramente definidos”. Assim, quanto mais as questões em causa procurem explicar uma situação atual, mais a investigação através de um estudo de caso será relevante. Ao tentar compreender e explicar um fenómeno ou um conjunto de fenómenos na realidade, um caso pode testar e/ou criar uma teoria, na medida em que desvenda a realidade. Uma vez que este trabalho pretende estudar a possível aplicação autocarros movidos a combustíveis alternativos na MP, optou-se pela realização do estudo de caso como desenho de pesquisa.

Segundo Yin (2001), o desenho da pesquisa através do estudo de caso pode ser de 4 tipos. Na Figura 8 está representada uma matriz 2x2 que auxilia na sua caracterização. É composta por 2 dimensões: o número de unidades de análise e o número de casos a serem estudados. Desta forma, a matriz contém 4 quadrantes:

- Desenho do Tipo 1 – em que é adotada uma unidade de análise e apenas é realizado um estudo de caso;
- Desenho do Tipo 2 – em que são adotadas múltiplas unidades de análise e apenas é realizado um estudo de caso;
- Desenho do Tipo 3 – em que é adotada uma unidade de análise e são realizados dois ou mais estudos de caso;
- Desenho do Tipo 4 – em que são adotadas múltiplas unidades de análise e são realizados dois ou mais estudos de caso;

	projetos de caso único	projetos de casos múltiplos
holísticos (unidade única de análise)	TIPO 1	TIPO 3
incorporados (unidades múltiplas de análise)	TIPO 2	TIPO 4

Figura 8 – Tipos de estudos de caso

Fonte: Yin (2001)

No caso concreto deste trabalho, foi fundamental estudar mais do que um caso. Esta escolha não só visou obter uma maior variedade de opiniões sobre o mesmo combustível (aplicado a autocarros) como um objeto de estudo mais abrangente. Como tal, optou-se pelo desenho do Tipo 3, onde foram analisados 3 casos e adotada uma unidade de análise – descarbonização da frota da MP. Ao capturar perspetivas de diferentes entidades, criaram-se linhas de convergência e divergência a partir do qual resultaram factos e explicações pertinentes para possível aplicação na MP.

### **3.3. Método de Obtenção de Informação**

Segundo Yin (2001), na realização de um estudo de caso, existem 6 métodos de obtenção de informação: observação direta; observação participante; documentação; entrevistas; registos em arquivos e artefactos físicos.

Neste trabalho optou-se pela realização de entrevistas como principal fonte de obtenção de dados, mesmo tendo um conhecimento prévio dos seus principais pontos fracos. A entrevista é um importante instrumento de trabalho para o investigador pois permite obter informação sobre diversos domínios e ainda reflexões ricas e detalhadas (Bryman, 2012). Por outro lado, de acordo com Marconi e Lakatos (2003), a entrevista apresenta algumas limitações:

- Dificuldade de expressão e comunicação de ambas as partes;
- Incompreensão das perguntas, o que pode levar a uma falsa interpretação;
- Possibilidade de o entrevistado ser influenciado, consciente ou inconscientemente, pelo entrevistador;
- Disposição do entrevistado em dar as informações necessárias;
- Ocultação de alguns dados importantes, com receio da identidade ser revelada;
- Pouco controlo sobre uma situação de coleta de dados;
- A transcrição da entrevista e a análise da mesma é bastante demorada.

Bryman (2012) salienta a entrevista como o método mais usado na pesquisa qualitativa, sendo as semiestruturadas e as não estruturadas as mais usadas. Refere ainda que para realizar uma pesquisa que envolva mais do que um estudo de caso, será necessário criar uma estrutura para garantir a comparabilidade entre casos. As entrevistas elaboradas foram de carácter semiestruturado. Neste tipo de entrevista, o entrevistador segue uma lista de perguntas ou tópicos orientadores a serem abordados, muitas vezes referida como guião de entrevista. Durante a entrevista, o entrevistador pode não seguir exatamente a ordem com que aparecem no guião e pode colocar mais perguntas que não estão incluídas no mesmo. Do lado do entrevistado, o processo da entrevista é também bastante flexível, permitindo-lhe alguma liberdade nas respostas. Além disso, pode ser entrevistado em mais do que uma ocasião, isto é, em diferentes fases do estudo (Bryman, 2012). Numa fase exploratória, a entrevista pode ser uma ferramenta essencial para compreender a natureza do fenómeno em estudo e descobrir novas informações que orientem a investigação.

Durante a fase de recolha de dados, pode ser utilizada para obter informações mais detalhadas, ao explorar as experiências, opiniões e perceções dos participantes. Já na fase de validação dos resultados, pode desempenhar um papel fundamental ao permitir confrontar os dados recolhidos com as conclusões obtidas.

Após ter sido submetido aos orientadores, foi enviado para os entrevistados o guião da entrevista (Apêndice 2 e 3), juntamente com uma pequena explicação dos objetivos e finalidade deste trabalho. A comunicação foi sempre feita via correio eletrónico ou contacto telefónico.

As entrevistas para esta investigação destinaram-se a entidades públicas situadas em Portugal que tenham ou já tenham tido na sua frota autocarros movidos a combustíveis alternativos, estando consciente de que esta abordagem poderia resultar numa baixa taxa de resposta. No total foram realizadas entrevistas a 3 entidades: a Sociedade de Transportes Coletivos do Porto (STCP), CARRIS e Câmara Municipal de Cascais (CMC). As entrevistas tiveram uma duração média de uma hora e foram todas realizadas via *Zoom* ou *Microsoft Teams*, o que permitiu uma maior flexibilidade de horário. Em todos os casos, foi autorizada a gravação da entrevista, no sentido de facilitar e permitir maior fiabilidade na posterior tarefa de análise de dados.

A estrutura da entrevista foi feita em função dos objetivos e trabalho de investigação teórica realizada previamente. Assim, a entrevista focou-se nos 7 tópicos representados na Figura 9.

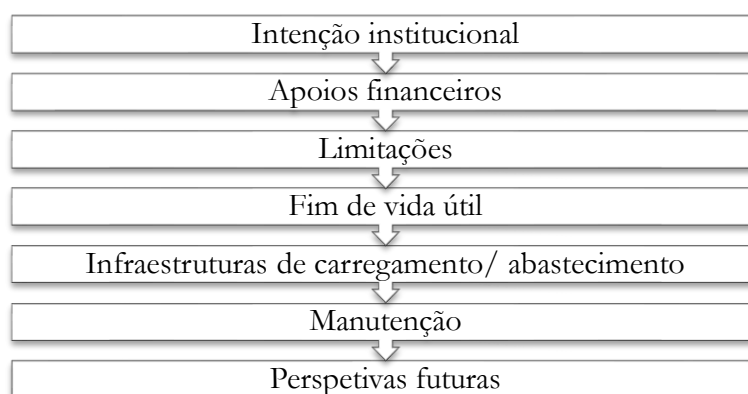


Figura 9 – Tópicos para análise das entrevistas

Fonte: Elaboração própria

Em cada um destes tópicos, pretendeu-se atingir a seguinte informação:

- Intenção institucional: saber qual a visão da entidade relativa à mobilidade sustentável e os principais motivos da descarbonização da frota;
- Apoios financeiros: identificar a existência de possíveis apoios financeiros para a aquisição de autocarros;
- Limitações: identificar as principais limitações associadas aos próprios autocarros, nomeadamente à autonomia, abastecimento e operação;
- Fim de vida útil: entender os procedimentos efetuados após o fim de vida útil dos autocarros, tendo em especial atenção às baterias;
- Infraestruturas de carregamento/ abastecimento: compreender como cada entidade está preparada para o abastecimento dos autocarros, ou seja, se têm infraestruturas de carregamento próprias ou se recorrem a entidades externas (públicas ou privadas) para o seu fornecimento. Pretendeu-se também perceber se as entidades produzem ou fazem intenções de produzir combustível nas suas instalações;
- Manutenção: identificar os locais onde são realizadas as manutenções dos autocarros, se a manutenção dos autocarros mais ecológicos difere muito comparativamente aos autocarros de combustão interna e se essas diferenças se refletem em termos financeiros. No caso de as manutenções serem feitas internamente, procurou-se também saber se foi necessária a

formação da mão-de-obra quando a entidade procedeu à transição para uma frota movida a energias alternativas;

- Perspetivas futuras: perceber quais as intenções da entidade para o futuro, no que respeita à frota, e que aspetos consideram que devem ser melhorados com vista a aumentar a eficiência dos transportes coletivos de passageiros.

Além das entrevistas, procuraram-se outras fontes de obtenção de informação que permitissem complementar os dados obtidos através das entrevistas, nomeadamente a consulta de Relatórios e Contas dos últimos anos de cada uma das empresas. Estes documentos foram de extrema importância, uma vez que permitiram obter informação fidedigna respeitante à transição para uma frota sustentável, acompanhada da evolução das emissões de gases poluentes para a atmosfera.

### 3.4. Método de Análise dos Dados

Na análise de dados optou-se pela divisão em diversas categorias, a fim de facilitar a compreensão e a assimilação dos conceitos apresentados. Para além da identificação das diversas categorias abordadas, a Tabela 6 também exhibe o tipo de análise de dados aplicado em cada uma delas.

Tabela 6 - Tópicos e tipo de análise de dados

Tópico	Qualitativa	Quantitativa
Emissões de CO <sub>2</sub>		X
Intenção institucional	X	
Processo de aquisição e apoios financeiros	X	
Limitações	X	
Vida útil	X	
Infraestruturas de carregamento/ abastecimento	X	
Manutenção	X	
Perspetivas futuras	X	

Fonte: Elaboração própria

Na análise quantitativa, inicialmente procurou-se realizar uma análise de investimentos. Porém, devido à falta de dados, tomou-se a decisão de não prosseguir esse caminho. A falta de informações adequadas poderia comprometer a precisão e a confiabilidade dos resultados a obter. Perante esse desafio, optou-se por uma análise alternativa, direcionada para os aspetos relativos à sustentabilidade ambiental, nomeadamente para as emissões de CO<sub>2</sub>. Assim sendo, para a análise quantitativa foi utilizada a análise de cenários, tendo sido criados 5 cenários que representam opções viáveis para a MP realizar a transição para uma frota sustentável de autocarros. De seguida, foi identificado o cenário que mais se aproximava das metas legais delineadas para as emissões de GEE até ao ano de 2030.

A análise de cenários é uma técnica de investigação que envolve a criação de diferentes cenários plausíveis, com base em dados, informações e suposições fundamentadas, para explorar possíveis futuros e as suas implicações. É uma abordagem amplamente utilizada em diversas áreas, nomeadamente em planeamentos estratégicos, onde se pretende antecipar riscos e identificar oportunidades. Embora não seja possível prever o futuro com precisão, a análise de cenários fornece uma visão abrangente e valiosa para a tomada de decisões. Segundo Gobet (1994), esta técnica inicia-se com a construção de uma base através da delimitação do estudo e identificação das principais variáveis, que servirá como ponto de partida. De seguida, são estabelecidos cenários que representam futuros possíveis, levando em consideração as variáveis identificadas na etapa anterior. Por fim, há a etapa de análise e interpretação dos resultados obtidos através desses cenários.

Por ter uma natureza mais abrangente, a análise qualitativa foi dividida em 7 categorias, as mesmas utilizadas no guião de entrevista. Esta divisão teve como objetivo uma organização mais clara dos dados, fácil compreensão e identificação de padrões e foco nos aspetos mais relevantes. O método utilizado nesta análise foi, portanto, a agregação categorial, descrita por Stake (1995), como uma técnica para encontrar padrões entre estudos de caso. Para resumir a análise por categorias e facilitar a compreensão dos resultados, foi realizada uma classificação das mesmas segundo uma escala.

Com base nos resultados da análise mista foi feita uma abordagem indutiva e elaboradas recomendações para uma transição gradual e sustentável da frota na MP, apresentadas no Capítulo - Conclusões e Recomendações.

Para a elaboração do presente trabalho recorreu-se a diversas aplicações informáticas. Para fazer referências bibliográficas foi utilizado o *Mendeley* versão 2.85.0, seguindo as Normas para a elaboração de dissertações, trabalhos de projeto ou relatórios da Escola Naval e as normas da *American Psychological Association*, na sua 7ª edição. Quanto à redação foi usado apenas o *Microsoft Word*. No que respeita à recolha e tratamento dados, o meio informático utilizado foi o *Microsoft Excel*.



## 4. Estudos de caso

### 4.1. CARRIS

A Companhia CARRIS de Ferro de Lisboa foi fundada a 18 de setembro de 1872, sendo, assim, uma das empresas de transporte mais antigas e tradicionais do país. Opera diversos meios de transporte, tais como os elétricos, autocarros, ascensores e elevadores. Atualmente, conta com 750 autocarros na sua frota repartidos pelas diversas tipologias e propulsões (CARRIS, n.d.). Atendendo à missão e valores da empresa, para além do serviço de transportes, a CARRIS também se preocupa com a modernização e inovação contínuas. Procura melhorar a qualidade dos serviços oferecidos, investindo na tecnologia e na renovação da sua frota, visando tornar o transporte público mais sustentável e eficiente.

A idade média da sua frota de autocarros sofreu um grande aumento até 2018, ano em que se iniciou o processo de reversão ao adquirir novos autocarros, com recurso a tecnologias mais limpas. O Figura 10 mostra a evolução da idade média dos autocarros da CARRIS nos últimos anos.

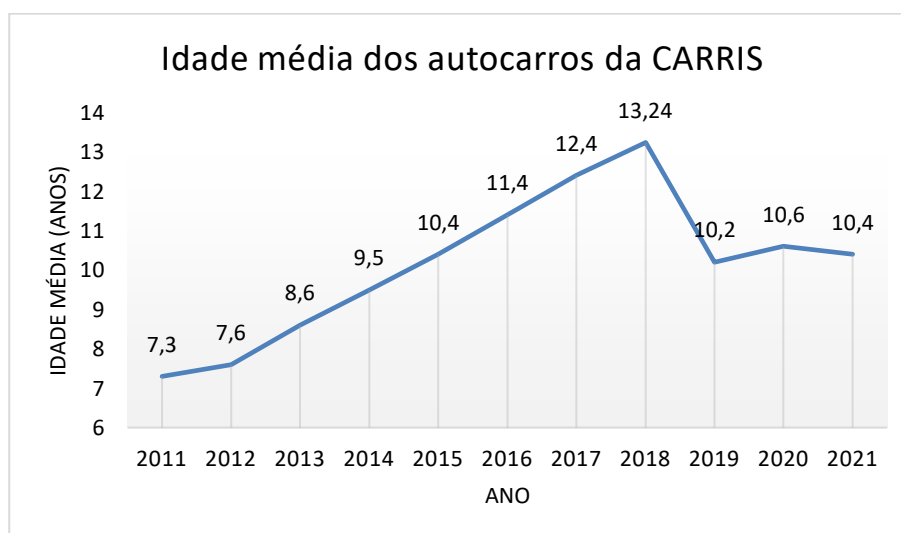


Figura 10 - Idade média dos autocarros da CARRIS entre 2011 e 2021

Fonte: Com base em CARRIS (n.d.)

Do prolongamento do conflito na Ucrânia e da recuperação da pandemia têm resultado uma grande incerteza das cadeias de abastecimento e taxas de inflação bastante elevadas. Aspetos estes que se refletem nos custos da prestação de serviços, com especial enfoque nos custos dos combustíveis. Contudo, a Carris (n.d.) afirma que esse cenário

desfavorável não a “afastará (...) da sua missão em prol da melhoria da mobilidade sustentável na cidade, ciente de que esta é a sua vocação natural, mais do que a de visar a mera obtenção de resultados e objetivos de índole exclusivamente económico financeiros”.

Uma das linhas de ação da CARRIS é a renovação da frota, que envolve a aquisição de uma frota mais moderna e menos poluente, com vista a diminuir o seu impacto na saúde pública e a alcançar as metas europeias relativas ao meio ambiente. Com esta medida, pretende também reduzir os custos com o combustível e as intervenções ao nível da manutenção. A vida útil de um autocarro não deve exceder os 15 anos, a fim de assegurar a eficiência dos veículos utilizados na prestação de serviços públicos. Essa referência é especialmente importante para garantir as boas condições operacionais da frota, evitando problemas como avarias frequentes e a consequente imobilização dos autocarros, o que acarreta um aumento significativo nos custos operacionais.

Face ao exposto, a CARRIS reconhece a renovação da frota de autocarros como uma necessidade estratégica, urgente e imprescindível. Para esse efeito, comprometeu-se a apresentar, até ao final de 2023, uma frota em que quase 50% corresponde a autocarros movidos a energias limpas (Figura 11).

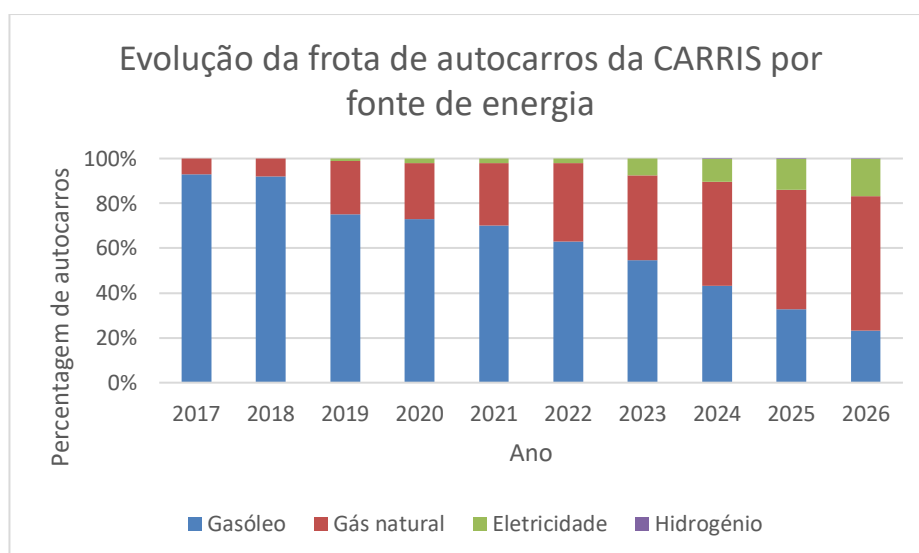


Figura 11 - Evolução da frota de autocarros da CARRIS por fonte de energia

Fonte: Com base em CARRIS (n.d.)

Embora as tecnologias de propulsão escolhidas pela CARRIS para a transição para uma mobilidade sustentável tenham sido o gás natural e a eletricidade, a empresa está ciente de que podem existir outras alternativas consoante a evolução da oferta de soluções disponibilizadas pelos fornecedores.

Outras linhas de ação incluem a conversão dos edifícios existentes para edifícios mais ecológicos e a adaptação das instalações às novas tecnologias adotadas nos autocarros. Com a instalação de painéis fotovoltaicos no edifício das estações, a CARRIS pretende gerar e consumir energia 100% limpa, assim como poupar no consumo energético. Paralelamente, atendendo ao número de novos veículos sustentáveis a entrar ao serviço, a empresa tem vindo a efetuar várias reestruturações de grande dimensão e de montantes elevados no seu edifício. Foi construído um posto de abastecimento de GNC e de GNL no complexo de Miraflores e um posto de carregamento elétrico na Estação da Pontinha. Além disso, foram realizadas adaptações nas oficinas destinadas à manutenção e reparação dos veículos (oficinas da CARRISBUS – empresa cuja CARRIS detém a 100%). Embora já tenham sido efetuadas diversas obras, a CARRIS prevê ser ainda necessário o investimento em novas infraestruturas de carregamento elétrico na Estação da Pontinha para aumentar a respetiva eficiência operacional.

## **4.2. STCP**

A STCP, antiga Companhia Carris de Ferro do Porto, é uma empresa de transportes públicos que opera na região metropolitana do Porto. A sua criação remonta a 1994, surgindo como resultado da constituição de uma sociedade anónima de cariz exclusivamente público. A partir de 1 de janeiro de 2021, foi concluído o processo de intermunicipalização da empresa com a transferência do capital do Estado para os 6 Municípios atendidos pela rede: Gondomar, Maia, Matosinhos, Porto, Valongo e Vila Nova de Gaia.

A empresa opera uma extensa rede, onde conta com 434 de autocarros e 7 elétricos de diferentes idades. Na Figura 12 está representada a evolução da idade média dos autocarros da STCP ao longo dos últimos anos.

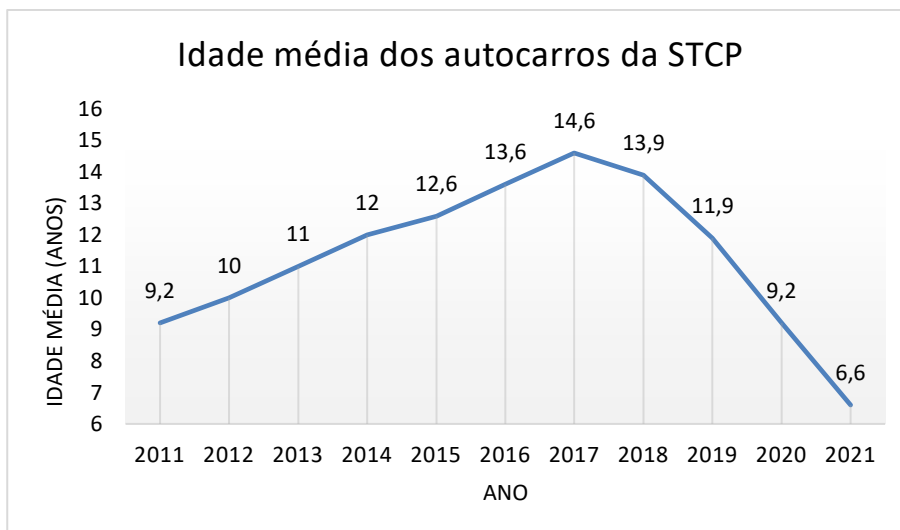


Figura 12 - Idade média dos autocarros da STCP entre 2011 e 2021

Fonte: Com base em STCP (n.d.)

A empresa considera que a idade média da frota é um fator importante a ser considerado, pois está diretamente relacionado com a eficiência, confiabilidade e conforto dos veículos. Segundo a política da empresa, um autocarro considera-se em fim de vida útil quando atinge os 16 anos. Assim sendo, desde abril de 2018 que a STCP tem estado empenhada na modernização e atualização da frota de autocarros através substituição dos mais antigos por modelos mais recentes, tecnologicamente avançados e ambientalmente sustentáveis. A introdução de BEB e movidos a GNC tem sido uma das suas prioridades para atingir esse fim.

Na Figura 13 está demonstrada a evolução da frota de autocarros da STCP por fonte de energia até 2021 e uma previsão da mesma até 2027.

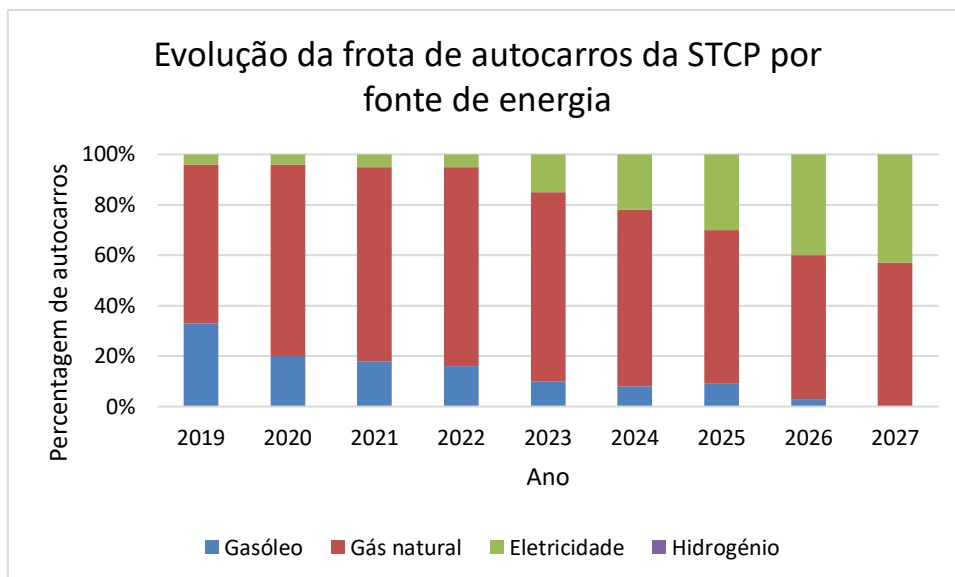


Figura 13 - Evolução da frota de autocarros da STCP por fonte de energia

Fonte: Com base em STCP (n.d.)

A descarbonização da operação da STCP, inclui a existência de infraestruturas de carregamento e abastecimento adequados ao tipo de propulsão dos autocarros. Assim, a renovação da frota foi quase sempre acompanhada da instalação de postos de abastecimento modernos e sustentáveis. Atualmente, a STCP detém 10 postos de carregamento para autocarros elétricos, que estão equipados com diferentes potências (100 kW e 80 kW). Além disso, possui um posto de abastecimento de gasóleo e dois de gás natural para garantir a operação eficiente da sua frota. A implementação dos postos de abastecimento de gás natural e eletricidade foi também realizada com recurso ao POSEUR e PRR, que cofinanciaram essa iniciativa. Reforçando o seu compromisso na sustentabilidade, a STCP tem apostado em fontes de ER para carregamento dos veículos e em instalações de apoio às operações.

O conflito armado na Ucrânia, parcialmente compensado pela melhoria da situação epidemiológica, gerou uma situação económica de grande imprevisibilidade e teve como principais consequências o agravamento das interrupções no funcionamento normal das cadeias globais de abastecimento, incerteza nas taxas de juros e um aumento da taxa de inflação. Fatores esses que têm tido diversos impactos negativos na atividade da empresa desde o aumento dos custos de operação à impossibilidade ou adiamento da manutenção da frota e de empreitadas já em curso. Prevê, portanto, algumas dificuldades e possíveis

atrasos na execução dos trabalhos previstos no plano de atividades, mas considera que dispõe de condições e meios adequados para manter as atividades.

### **4.3. CMC**

A CMC tem investido significativamente no desenvolvimento de um sistema de transporte urbano moderno, eficiente e sustentável para atender às necessidades da comunidade local. Desde 25 de maio de 2021, o transporte público rodoviário no concelho de Cascais é realizado por dois operadores sob a marca MobiCascais. A empresa Martín S.A. - Sucursal em Portugal, pertencente ao Grupo Ruiz, atua como operador externo, enquanto a Cascais Próxima, Empresa Municipal S.A., atua como operador interno.

Até 2021, inclusive, a rede de transportes do Concelho era composta por 96 autocarros a gasóleo operados pela Martín S.A. e 20 autocarros operados pela Cascais Próxima, sendo 18 movidos a gasóleo e 2 elétricos a hidrogénio. Estes últimos autocarros estão na vanguarda da tecnologia, cumprindo todas as normas ambientais estabelecidas para garantir uma operação sustentável e amiga do ambiente. Prova disso é a idade média da frota. Na Figura 14, está identificada a idade média dos autocarros da Cascais Próxima nos últimos 3 anos, onde se verifica uma descida acentuada de 2020 para 2021. Relativamente aos autocarros da Martín S.A., todos eles tinham uma idade média de 1 ano, visto que foram adquiridos em 2021.

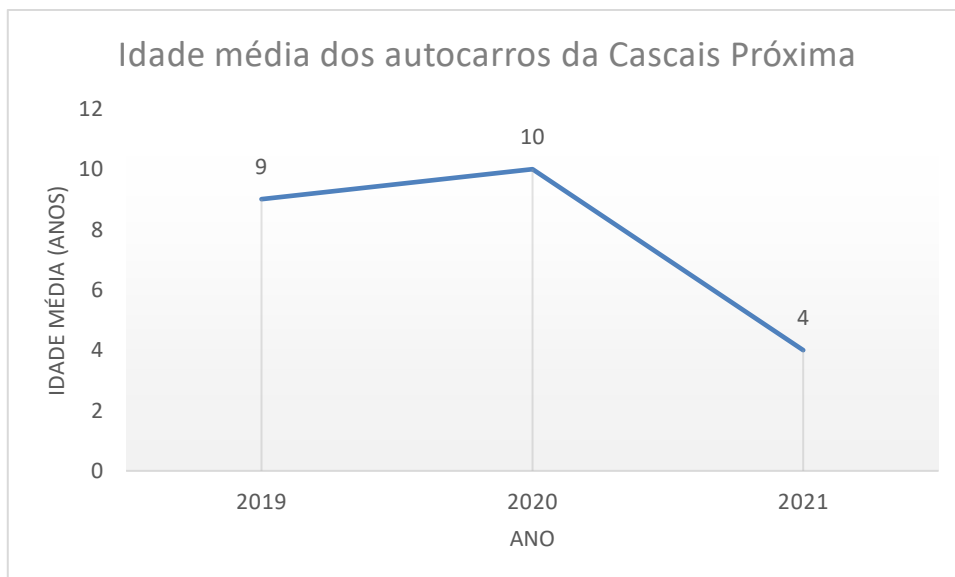


Figura 14 - Idade média dos autocarros da Cascais Próxima entre 2019 e 2021

Fonte: Com base em CMC (n.d.)

No âmbito da ação climática, a CMC promove ainda a transição energética através da implementação de medidas para o uso eficiente de recursos e energia e do incentivo ao aproveitamento da energia solar. Embora tenha sido solicitado, não foi possível obter mais informações sobre as fontes energéticas, nomeadamente onde são implementadas essas medidas e para onde são direcionadas (edifícios, carregadores de veículos, etc.).

#### 4.4. MP

A Diretiva Estratégica da Marinha é um documento fundamental que estabelece uma série de diretrizes e metas para a MP nos próximos anos. Visa orientar as ações e decisões da instituição, procurando o aprimoramento contínuo e o cumprimento dos objetivos propostos. Para além dos Objetivos Estratégicos, estão também identificadas Iniciativas Estratégicas (IE) para cada um desses objetivos. Entre essas destaca-se, a IE 56:

“Elaborar uma agenda verde e alocar recursos financeiros a projetos de investimento nas áreas do ambiente, economia circular e energias alternativas da MP, promovendo a sustentabilidade ambiental e implementando projetos: (...) Da

eficiência energética; Da eletrificação de transportes interno; (...) Da energia fotovoltaica” (MP, 2022).

O setor dos transportes rodoviários da MP desempenha um papel fundamental no suporte logístico e operacional da instituição. A Direção de Transportes (DT) é um órgão da Superintendência do Material responsável pelo transporte de pessoas e abastecimento contínuo de equipamentos e materiais a diferentes locais geográficos. Assegura a gestão operacional e direção técnica dos meios de transporte terrestres que lhe estejam afetos, o que envolve, entre outras responsabilidades, a coordenação dos horários e trajetos.

Atendendo ao fim a que se destinam, as viaturas na posse da MP podem classificar-se de táticas ou administrativas. Segundo o Despacho n.º 18/94 “Considera-se viatura administrativa todo o veículo não abrangido pela definição de viatura tática”. Por sua vez, entende-se por viatura tática “todo o veículo militar (...) com características militares específicas que o tornam adequado ao emprego direto, ou em apoio, de operações de combate ou de treino de tropas para tais operações”.

Este trabalho focará apenas uma das cinco categorias de viaturas administrativas, nomeadamente as viaturas para transporte de pessoal, e uma das suas subcategorias: as viaturas de transporte coletivo. Nesta subcategoria, as viaturas são classificadas como tipologias militares E, F e G, cuja designação se encontra a Tabela 7.

Tabela 7 - Tipologia militar das viaturas e respetiva denominação

<b>Tipologia militar</b>	<b>Denominação</b>
E	Transporte Coletivo (8 a 12 lugares)
F	Transporte Coletivo (19 a 22 lugares)
G	Transporte Coletivo (>45 lugares)

Fonte: Com base no Despacho n.º 18/94

Atualmente, a DT tem ao seu dispor 39 viaturas operacionais e em reparação das tipologias E, F e G com uma média de idades de 19,9 anos. A Tabela 8 demonstra a distribuição do número de veículos e a idade média dos mesmos por tipologia.

Tabela 8 - Número de veículos e idade média por tipologia militar

Tipologia militar	Número de veículos	Idade média (anos)
E	11	15,2
F	13	20,5
G	15	24,1

Fonte: Com base no Despacho n.º 18/94

Ao longo dos anos estas viaturas são sujeitas a manutenções regulares para garantir a sua funcionalidade e confiabilidade. A DT possui duas oficinas, cada uma especializada em atender às necessidades de viaturas de diferentes categorias. Uma das oficinas é dedicada ao serviço de reparação e manutenção de veículos ligeiros, enquanto a outra é responsável por lidar com veículos pesados.

O procedimento de aquisição de veículos na MP envolve várias etapas e coordenação entre diferentes áreas e entidades. Todo o processo está detalhado no Anexo 4. É de salientar que, de acordo com a legislação vigente (Decreto-Lei n.º 10/2023), para a aquisição de um novo veículo, para efeitos de renovação da frota, é obrigatório o abate de pelo menos dois veículos em final de vida. No caso específico da aquisição de um veículo 100% elétrico, é apenas exigido o abate de, no mínimo, uma viatura. A operação de abate é, atualmente, realizada pela Entidade de Serviços Partilhados da AP, cuja responsabilidade é gerir e supervisionar esse processo.

Paralelamente, tem sido evidente o compromisso da MP em adotar soluções sustentáveis e aproveitar os benefícios das ER, alinhando-se com as atividades de transição energética promovidas na Diretiva Ambiental para a Defesa Nacional (Despacho n.º 149/2020) e no ECO.AP 2030. Tem existido uma aposta significativa na instalação de painéis solares em diversas unidades, visando a produção de ER e a redução da dependência da rede convencional. Já foram instalados painéis solares térmicos e fotovoltaicos em diversas unidades da MP, nomeadamente, no Centro de Educação Física da Armada (CEFA), na Messe de Praças da Escola de Tecnologias Navais da Armada, na Messe Residencial<sup>13</sup>, na Messe<sup>14</sup> de Sargentos e Praças e na Casa da Guarda da Base Naval de Lisboa (BNL). Entre os projetos futuros destaca-se a instalação de uma central

<sup>13</sup> Por Messe residencial entende-se um edifício destinado a acomodar e abrigar militares.

<sup>14</sup> Por Messe entende-se todo o serviço de preparação, confeção e distribuição de refeições.

fotovoltaica na cobertura do parque de estacionamento da Estação Naval e a aquisição de um sistema de armazenamento de energia em baterias que será instalado na BNL. O objetivo desse sistema é armazenar a energia excedente gerada pelos painéis fotovoltaicos do CEFA. Dessa forma, quando for necessária energia para as unidades alimentadas pelo Posto de Transformação n.º 4 da BNL, as baterias serão capazes de alimentar esse troço da rede da Base (Gomes, 2023).

Atualmente, já existem postos de carregamento para veículos ligeiros na UAICM, nas Instalações Navais de Alcântara e na BNL. Além disso, está prevista a instalação de mais um posto de carregamento no parque de estacionamento da Estação Naval, que se destaca por ser bidirecional. Isso significa que além de carregar o veículo, este também pode fornecer energia de volta à rede elétrica.

Relativamente aos biocombustíveis, todos os anos a MP estabelece um contrato com uma empresa externa de recolha de óleos alimentares usados, pelo que esses óleos não estão a ser aproveitados para a produção de biocombustíveis.

Todos os anos é ainda estabelecido um contrato de fornecimento de hidrogénio com uma empresa externa à MP, o que acarreta elevados custos e uma grande dependência da mesma. Por estas razões, outra solução que tem sido ponderada nos últimos anos é a possibilidade de produção de hidrogénio na BNL através de um eletrolisador. A produção de hidrogénio verde através de eletrolisadores, utiliza ER para se obter hidrogénio limpo. Para o efeito, seria utilizada a energia produzida na BNL através de todos painéis fotovoltaicos já instalados e dos previstos instalar a curto prazo. Para a alimentação de água do eletrolisador, seria efetuada a captação de água do rio Tejo. Após um processo de tratamento por meio de sistemas de osmose inversa, a água seria injetada no eletrolisador e por via de uma reação eletroquímica seria decomposta e iria formar o hidrogénio e oxigénio. O hidrogénio e o oxigénio resultantes seriam comprimidos e armazenados em reservatórios para uso posterior. Com a implementação desse sistema, a MP teria total independência do mercado e, ao conjugar com as ER, conseguiria produzir hidrogénio verde durante 24 horas (Santos, 2022). Assim, poderia abastecer as unidades navais, bem como as viaturas terrestres, por meio de dispensadores apropriados.

Estas iniciativas demonstram o compromisso da MP em explorar soluções sustentáveis e adotar tecnologias que promovam a transição para uma matriz energética mais limpa e eficiente. A implementação dessas práticas amigas do ambiente é um passo

importante para a MP contribuir ativamente para a preservação ambiental e o desenvolvimento de uma sociedade mais sustentável.



## 5. Análise de dados e resultados

### 5.1. Emissões de CO<sub>2</sub>

Para analisar a evolução das emissões de CO<sub>2</sub> até 2030, ano em que se pretende ver atingidas as metas nacionais (menos 40% das emissões de GEE até 2030, em relação a 2005), foram desenvolvidos 5 cenários. Para cada um deles foi utilizado um valor diferente de incremento do número de autocarros movidos a combustíveis sustentáveis em detrimento dos autocarros a gasóleo:

- Cenário 1 (Cenário base): Mantem-se a frota atual, em que todos os autocarros são movidos a gasóleo. Este cenário serviu como ponto de referência para comparar os outros 4;
- Cenário 2: Substituição de 1 veículo por ano até 2030;
- Cenário 3: Substituição de 2 veículos por ano até 2030;
- Cenário 4: Substituição de 3 veículos por ano até 2030;
- Cenário 5: Substituição de 4 veículos por ano até 2030.

Estes cenários, representados graficamente no Apêndice 4, têm como propósito comparar as emissões de CO<sub>2</sub> de diferentes tipos de combustível e identificar qual apresenta melhor redução. Pretende-se, assim, fornecer uma visão abrangente dos possíveis impactos ambientais e contribuir para a tomada de decisão no setor dos transportes da MP.

O desenvolvimento destes cenários teve como objetivo analisar uma transição gradual da frota. Uma substituição repentina também seria possível. No entanto, poderia ser um desafio para a MP em termos de custos financeiros envolvidos. Por um lado, a descarbonização envolveria menos autocarros na totalidade (se a transição fosse efetuada nos primeiros anos), mas por outro o investimento inicial seria muito superior. Outro fator tido em consideração foi a manutenção. Uma transição gradual permite aprimorar o conhecimento, aperfeiçoar as práticas e, portanto, adaptar melhor, garantindo uma implementação mais eficiente e bem-sucedida.

Por forma a tornar a comparação o mais realista, utilizaram-se valores fornecidos por empresas que já tenham adotado a utilização de autocarros com menores emissões poluentes. Por falta de dados concretos por parte da CARRIS, para os valores do gasóleo e GNC apenas foram utilizados os dados fornecidos pela STCP (n.d.). Para os BEB e FCEB, segundo os relatórios e entrevistas da CARRIS (Vieira, 2023), STCP (Abreu, 2023) e CMC

(Sousa & Serôdio, 2023), as emissões de CO<sub>2</sub> registadas foram muito pouco significativas ou nem sequer houve registo por parte das empresas pelo que nos cálculos foi considerado o valor zero tCO<sub>2</sub> por km. Em termos de biocombustível, só será analisado o biodiesel produzido a partir de óleos alimentares usados, visto que foi o único utilizado entre as empresas entrevistadas. Na entrevista feita à CARRIS foi mencionado que as emissões de CO<sub>2</sub> dos autocarros movidos a biodiesel são semelhantes às do gasóleo e não existem dados relativos aos km percorridos por esses autocarros em 2021, razão pela qual se considerou o mesmo valor de tCO<sub>2</sub>/km que no gasóleo. Na Tabela 9 estão representados os valores obtidos e os que foram utilizados para os diversos cenários apresentados.

Tabela 9 - Emissões (tCO<sub>2</sub>) por km e tipo de combustível

Combustível	Km percorridos (2021)	tCO <sub>2</sub>	tCO <sub>2</sub> /km
Gasóleo	3.092.000	4743	0,00153
GNC	18.965.000	25142	0,00133
Eletricidade	398.000	0	0
Hidrogénio verde	-	0	0
Biodiesel	-	-	0,00153

Fonte: Com base em STCP (n.d.), CARRIS (n.d.) e CMC (n.d.)

Também para os diversos cenários foram considerados os seguintes pressupostos:

- Cada autocarro da MP percorre por ano 11.646 km. Este valor foi obtido através da média aritmética anual de Km percorridos pelos autocarros da MP (Anexo 5);
- A substituição dos autocarros só se inicia em 2024, mantendo sempre o mesmo número de veículos na frota (39 autocarros);
- Cada autocarro emite o mesmo valor de CO<sub>2</sub>, independentemente da idade, marca ou modelo;
- Apenas são consideradas as emissões de utilização dos veículos (*tank-to-wheel*);

- As aquisições/substituições de autocarros foram feitas de forma faseada para evitar investimentos iniciais extremamente elevados;
- Apenas foi considerada a substituição de autocarros a gásóleo por um só tipo de combustível alternativo e cada substituição requer o abate de um autocarro.

Após a análise quantitativa realizada, os resultados (Tabela 10) demonstraram que a substituição de autocarros a gásóleo por combustíveis alternativos tem um impacto significativo na redução das emissões de CO<sub>2</sub>. Neste contexto, verificou-se que os BEB e os FCEB foram os que apresentaram os melhores e mais rápidos resultados. Por outro lado, os benefícios ambientais do biodiesel não se refletiram nos resultados obtidos, uma vez que a redução de emissões só é verificada na fase de produção e esta análise teve como foco as emissões durante a utilização dos autocarros. Em relação ao GNC, constatou-se que o ritmo da redução de emissões foi mais lento em comparação com os BEB e os FCEB. Apesar disso, o uso de GNC representa uma alternativa benéfica quando comparada com os autocarros movidos a gásóleo ou gasolina.

Tabela 10 - Variação das emissões de CO<sub>2</sub>, após conclusão plano substituição dos autocarros

<b>Substituições por tipo de combustível</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>	<b>Cenário 4</b>	<b>Cenário 5</b>
Gasóleo - GNC	0%	-1%	-2%	-4%	-5%
Gasóleo - Eletricidade	0%	-10%	-22%	-37%	-56%
Gasóleo – Hidrogénio verde	0%	-10%	-22%	-37%	-56%
Gasóleo - Biodiesel	0%	0%	0%	0%	0%

Fonte: Elaboração própria

## 5.2. **Intenção institucional**

Durante as entrevistas, todas as entidades reconheceram a necessidade de descarbonização no setor dos transportes, afirmando que a transição para uma mobilidade

mais sustentável é fundamental para obter melhores resultados ambientais. Porém, focaram-se em aspetos e perspetivas ligeiramente diferentes.

A CARRIS (Vieira, 2023) enfatizou a importância de estar na vanguarda da descarbonização. Salientou as vantagens ambientais e potenciais benefícios económicos a longo prazo, dando como exemplo o BEB. O seu custo inicial é muito elevado, mas no longo prazo pode apresentar custos de operação bastante baixos, principalmente se o carregamento for associado a ER.

Já a STCP destacou a necessidade de equilibrar a descarbonização com a viabilidade económica no contexto de uma empresa pública. Por um lado, centrou-se na necessidade de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> e na reversão das alterações climáticas através do processo de modernização e substituição da frota. Por outro, mencionou a preocupação com a sustentabilidade económica da empresa, uma vez que os custos são suportados pelos contribuintes. Considerou, assim, que “as coisas têm de evoluir no sentido da melhoria da pegada carbónica da nossa operação, mas nunca descurando de facto que tem de ser sustentável do ponto de vista económico” (Abreu, 2023).

Os representantes da CMC enfatizaram que o principal foco das suas ações no transporte público era o aspeto ambiental. Reconhece que a transição para tecnologias mais limpas e sustentáveis, como os FCEB, pode envolver custos e desafios financeiros adicionais. No entanto, referem que a saúde e o bem-estar da população, assim como a proteção do meio ambiente, são prioridades fundamentais. Como tal, estão dispostos a investir em soluções ambientalmente sustentáveis, mesmo que isso represente um esforço financeiro adicional.

### **5.3. Apoios financeiros**

No que diz respeito ao financiamento, tanto a CARRIS como a STCP mencionaram o apoio de programas de financiamento (POSEUR e PRR), a título não reembolsável, para cobrir parte dos custos com a aquisição de autocarros sustentáveis. No entanto, a STCP refere que os mais recentes apoios, como é o caso do PRR, já não contribuem para a aquisição de autocarros a GNC, como acontecia com o POSEUR. Apesar da tentativa de obter cofinanciamento, a CMC não cumpriu com os requisitos

solicitados nos programas, pelo que as aquisições foram totalmente comportadas pela mesma.

#### **5.4. Limitações operacionais em função da fonte energética**

Do ponto de vista dos autocarros a GNC, a CARRIS referiu que as únicas limitações à sua operação estão relacionadas com a disponibilidade de postos de abastecimento. Porém, considera que é uma limitação pouco significativa, uma vez que a autonomia dos autocarros a GNC é semelhante à dos autocarros a gasóleo.

Já os BEB são os que impõem mais limitações. A CARRIS afirmou que a autonomia destes autocarros é bastante reduzida, o que obriga a um planeamento mais detalhado da operação. Da mesma forma, a STCP mencionou que a baixa autonomia aumenta o risco de os autocarros ficarem parados na estrada antes do fim do serviço, e que, portanto, minimizar esses problemas requer uma boa gestão na escolha das linhas e dos horários a utilizar. Salienta ainda que trabalhar em circuitos urbanos pré-definidos facilita essa gestão, ao contrário das empresas que têm serviços mais aleatórios. Porém, refere que esta limitação tem vindo a ser ultrapassada aos poucos.

No caso dos FCEB, a CMC mencionou que a autonomia não representa uma limitação significativa, assim como a gestão do abastecimento, uma vez que se trata de um número reduzido de veículos e de um carregamento mais rápido do que os BEB. No entanto, apontaram uma questão relevante: a inexistência de produção de hidrogénio em Portugal, o que acaba por elevar o custo do combustível. Apesar de não haver restrições em termos de autonomia e abastecimento, a dependência de importação de hidrogénio torna a operação dos FCEB mais dispendiosa.

Os autocarros a biocombustível foram implementados pela CARRIS como uma estratégia para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> sem mudar o veículo ou a tecnologia. Após a conclusão do projeto realizado pela empresa em parceria com a PRIO, concluíram que o consumo e o preço do biodiesel eram ligeiramente superiores ao do gasóleo convencional. Assim, a grande limitação da utilização deste combustível está associada ao preço, como consequência da disponibilidade de biocombustíveis no país e da sua distribuição.

Quanto aos custos foi salientado que os FCEB e os 100% elétricos apresentam, atualmente, valores de aquisição bastante elevados em comparação com os autocarros a gasóleo ou a GNC. É, por isso, considerado um dos principais desafios destas tecnologias mais sustentáveis. No entanto, a CARRIS refere que, embora permaneça elevado, têm-se vindo a observar um decréscimo no valor de aquisição dos BEB nos últimos anos.

Outro aspeto que as entidades em questão referem é que se deve ter em conta todo o ciclo de vida do veículo, o que inclui os custos de manutenção e operação, e não apenas os custos de aquisição. Segundo a entrevista da CARRIS, “o diesel é o mais caro, o gás está a meio caminho e o elétrico já se observa hoje em dia que tem um custo muito inferior por km em relação ao custo do diesel”. Considera, portanto, que o grande desafio é o momento zero, em que é preciso fazer um grande investimento inicial, pois considera que a longo prazo os custos de utilização dos BEB podem compensar o investimento inicial.

Além do investimento inicial nos veículos, a CARRIS refere ser necessário considerar os custos associados às infraestruturas de abastecimento/carregamento. Aponta para a necessidade de estações de carregamento de hidrogénio, no caso de FCEB, e de postos de carregamento, subestações e postos de transformação para operar BEB, alegando um elevado investimento em ambos os casos, embora o investimento nas estações de abastecimento de hidrogénio seja mais significativo.

## **5.5. Fim de vida útil dos veículos**

Na questão relativa ao fim de vida útil, os entrevistados abordaram a vida útil dos autocarros e as considerações específicas para cada tipo de tecnologia de propulsão, visando a reciclagem e reutilização de materiais.

Para a CARRIS, a idade de referência para o abate dos autocarros a gasóleo e a GNC é de 15 ou 16 anos e para os autocarros elétricos prevê que não difira. Já a STCP diferenciou os autocarros a gasóleo dos autocarros a GNC. Indicou que os autocarros a GNC têm uma vida útil limitada a 20 anos devido à vida útil dos reservatórios de gás e que substituir esses reservatórios após 20 anos não é viável, pois o custo é superior à compra de um novo autocarro. Por outro lado, mantém a convicção de que os autocarros a gasóleo possuem uma vida útil de cerca de 15 ou 16 anos, assim como prevê o mesmo, ou um pouco mais, para os BEB.

No sentido de preservar os autocarros e visto que existem fatores externos que aumentam o seu desgaste, ambas as empresas enfatizam a importância das revisões e intervenções ao longo do ciclo de vida dos autocarros, em especial nos autocarros a gásóleo e a GNC. No caso dos BEB, é mencionado um funcionamento mais suave dos motores elétricos, resultando num menor desgaste na estrutura do veículo.

Quanto ao destino final dos autocarros, nas entrevistas com a CARRIS e STCP (Vieira, 2023; Abreu, 2023) foi mencionado o envio dos autocarros para centros de tratamento licenciados, onde são desmantelados e separados os diferentes tipos de materiais, para futuro reaproveitamento ou reciclagem. Outro local também utilizado pela CARRIS como destino final foi o seu museu. No caso dos BEB, há uma preocupação especial em relação às baterias. As duas entidades salientam alguma incerteza quanto à durabilidade e substituição/reutilização das baterias dos BEB. A STCP indica que, provavelmente, as baterias precisam de ser substituídas ao fim de 8 a 10 anos devido à diminuição da potência. Já a CARRIS destaca que é muito cedo para tirar conclusões definitivas sobre esse assunto. Além disso, embora a CARRIS não tenha uma ideia muito clara do que fazer com as baterias substituídas, a STCP prevê a utilização das mesmas como *backup* de energia para sistemas de carregamento.

A utilização de fontes de ER, como é o caso dos painéis fotovoltaicos e turbinas eólicas, para carregar os autocarros elétricos durante a noite pode apresentar desafios devido à incompatibilidade horária. No entanto, a ideia de utilizar as baterias substituídas dos autocarros como *backup* de energia, permite armazenar o excesso de energia produzida durante o dia e o usá-la à noite para carregar os autocarros, tornando o processo mais económico e vantajoso em comparação com o uso de energia da rede.

## **5.6. Infraestruturas de carregamento/ abastecimento**

Para o carregamento de BEB, a CARRIS e a STCP possuem um carregador com duas saídas para cada dois autocarros, de modo a que toda a sua frota possa estar ligada simultaneamente. Afirmam também que se tem observado uma evolução ao nível dos carregadores, que são cada vez mais potentes e, portanto, carregam mais rápido. Além disso, destacam a importância da gestão do carregamento dos BEB para otimizar o uso de energia e evitar sobrecargas na rede elétrica. Assim, para evitar esses picos de procura na

rede e reduzir os custos com a energia, a CARRIS tem implementado um *software* de gestão de carregamentos, que tem estado em constante melhoria e desenvolvimento.

Paralelamente, estão empenhadas em adotar práticas sustentáveis e explorar a ER. Porém, enquanto a CARRIS está a ponderar impor energia verde contratualmente, a STCP já tem prevista a instalação de painéis fotovoltaicos nos edifícios das estações e, numa fase posterior, nos parques de estacionamento dos autocarros. Contudo, salienta que mesmo cobrindo todas essas áreas, possivelmente a energia produzida não será suficiente para todas as necessidades da operação dos autocarros, ficando, em parte, dependentes da rede pública.

O abastecimento de hidrogénio para os autocarros funciona de forma distinta. Devido à inexistência de produção nacional, a CMC depende da importação desse combustível. Em Portugal, existe apenas um ponto de abastecimento móvel de hidrogénio. É um posto inteiramente projetado, desenvolvido e construído pela PRF. É designado por DRHYVE e está localizado em Lisboa (Cascais). Essa dependência externa cria um desafio para a CMC, uma vez que os custos de importação podem ser elevados. Consciente dessa realidade, a entidade reconhece a importância e a necessidade de produzir o seu próprio hidrogénio, visando reduzir os custos operacionais e garantir um abastecimento mais acessível.

## **5.7. Manutenção**

No que se refere à manutenção, os entrevistados abordaram os desafios e benefícios da manutenção de autocarros com diferentes tecnologias. No entanto, a CARRIS e a CMC enfatizaram a necessidade de treinar e de gerir a mudança, enquanto a STCP concentrou-se na simplicidade da manutenção dos veículos elétricos e nos seus benefícios económicos.

A CARRIS evidenciou como o grande desafio da manutenção lidar com uma variedade de tecnologias ao mesmo tempo, incluindo o gasóleo, gás natural, eletricidade e, possivelmente, o hidrogénio. Como tal, considera que treinar as equipas de manutenção para dominarem e saberem lidar com os diversos tipos de tecnologias simultaneamente é uma mudança desafiante. Pelo contrário, a STCP diz que a formação constante faz parte do tipo de atividade que exercem, pois a introdução de autocarros de marcas ou modelos

diferentes requer sempre formação do pessoal devido à constante evolução tecnológica. Como tal, com a introdução de autocarros elétricos ou de outra tecnologia isso não irá mudar. Até pelo contrário, “o nível de formação que vai ser necessário fazer de atualização aos operadores quando mudarmos de marca ou modelo não vai ser tão intenso como é hoje em dia com os de combustão” (Abreu, 2023).

A STCP afirmou que grande parte da manutenção nos autocarros está centrada no motor e na caixa de velocidades. Assim sendo, considera que a manutenção dos BEB é mais económica comparativamente com a dos autocarros de combustão interna, não só pela simplicidade do motor elétrico como pela redução de componentes intervencionados. Quanto aos autocarros a GNC, mencionou que os seus custos de manutenção são ligeiramente mais elevados do que o dos autocarros a gasóleo, pois requerem períodos mais curtos entre manutenções.

Já a CMC referiu que os dois FCEB em circulação em Cascais têm apresentado uma baixa necessidade de manutenção, embora tenham ocorrido alguns problemas iniciais típicos de uma tecnologia menos madura. Destaca ainda que os autocarros têm menos de dois anos de uso e uma quilometragem muito baixa, o que torna difícil fazer uma avaliação de longo prazo. O facto de a manutenção desses veículos ser garantida pelos técnicos do fornecedor, da Salvador Caetano, assegurou até à data a não necessidade de formação de técnicos nesta área.

## **5.8. Perspetivas futuras**

Por fim, foram colocadas questões quanto à futura transição para uma mobilidade sustentável. A STCP destacou a confiança na tecnologia dos BEB, enfatizando o seu potencial de baixo custo, enquanto a CARRIS abordou essencialmente os principais fatores que influenciaram a escolha do combustível a utilizar na sua frota. Enquanto isso, a CMC reafirmou o seu compromisso em substituir gradualmente os autocarros a gasóleo por FCEB. Reconhece o potencial dessa tecnologia emergente e procura impulsionar a sua adoção na frota de transportes públicos, liderando nessa mudança.

Em relação aos planos futuros, a CARRIS planeia expandir a frota com autocarros movidos a energias alternativas, com o objetivo de atingir uma frota a gasóleo de menos de 20% até 2026. Reconhece que a tecnologia do gás natural é a mais madura e que,

atualmente, desempenha um papel fundamental na transição. No caso dos autocarros BEB, refere que estão satisfeitos com o seu desempenho. Destaca que a constante evolução tecnológica permite a redução gradual dos custos de aquisição e operação assim como o aumento da autonomia das baterias, o que leva a considerar esta tecnologia uma boa opção. No entanto, enfatiza a importância dos fornecedores diversificarem a oferta nos diferentes segmentos de autocarros. Apesar do interesse no hidrogénio considera que a tecnologia é a menos madura em comparação com as tecnologias elétrica ou a gás natural. Embora tenham considerado adquirir um FCEB, a falta de infraestruturas adequadas para o abastecimento de hidrogénio no país levou ao seu adiamento. O entrevistado refere também que a CARRIS está a explorar o uso de biometano como combustível alternativo, pois possui emissões de CO<sub>2</sub> mais baixas em comparação com o gás natural tradicional. No que diz respeito aos autocarros a biocombustíveis, refere que o objetivo é apenas:

“criar uma panóplia de opções para que, se a determinada altura se tornar absolutamente essencial termos uma operação descarbonizada, por exemplo por imposição política ou regulamentar, termos uma alternativa que nos permita uma solução mais rápida sem termos de nos desfazer dos veículos antes do seu ciclo de vida normal”.

A expansão da frota movida a energias alternativas da STCP nada muda em relação à da CARRIS. A STCP pretende começar pela descarbonização dos autocarros a gasóleo e, em seguida, eliminar gradualmente os autocarros movidos a GNC. Esta transição pressupõe a substituição de todos esses veículos por BEB e, eventualmente, por FCEB, quando a tecnologia estiver mais madura. Acredita que os FCEB ainda não são uma opção viável devido à falta de maturidade da tecnologia, escassez de produção em larga escala, custo do combustível elevado e falta de infraestruturas de distribuição. Em vez disso, vê os BEB como a melhor opção. O representante da STCP afirmou que os BEB são equivalentes aos tróleys, sem a necessidade de estarem conectados à rede elétrica, oferecendo total autonomia e versatilidade. E, portanto, segundo a experiência da empresa, são veículos bastante económicos e eficientes. Acredita também que o custo de energia elétrica por km é o mais barato, assim como a manutenção, sendo o preço inicial dos BEB a única barreira atual. A empresa não descarta, no entanto, a possibilidade de utilizar biocombustíveis, como o biometano, como uma opção transitória para reduzir a pegada ambiental dos autocarros movidos a GNC. Contudo, considera que esta opção só será viável se os biocombustíveis estiverem disponíveis em quantidade e preços acessíveis. Assim, afirma que os BEB são a melhor opção em termos de sustentabilidade, sendo mais

silenciosos, não poluentes e mais económicos. Além do mais, estão otimistas de que os preços vão tornar-se mais acessíveis à medida que o mercado se expandir.

## 5.9. Classificação das categorias

Após a análise dos resultados por categorias, foi desenvolvida uma escala para classificar os autocarros movidos a diferentes combustíveis alternativos (biodiesel, eletricidade, gás natural e hidrogénio). A escala adotada (Apêndice 5) varia de 0 a 3, onde o valor 0 representa a situação em que a categoria não é aplicável ou não há dados, o valor 1 indica uma avaliação negativa e o valor 3 indica uma avaliação positiva. A classificação (Tabela 11) por escala foi projetada para fornecer uma avaliação objetiva e comparativa, podendo servir como ferramenta valiosa para orientar decisões e impulsionar a transição para uma frota de autocarros menos poluente.

As categorias consideradas foram: emissões de CO<sub>2</sub>, apoios financeiros, limitações operacionais, infraestruturas de carregamento/abastecimento e manutenção. As restantes categorias: intenção institucional, processo de aquisição, fim de vida útil e perspectivas futuras foram excluídas. Embora sejam critérios relevantes na tomada de decisão, não estão diretamente associados ao desempenho operacional e ambiental dos autocarros.

Tabela 11 – Classificação comparativa de autocarros movidos a combustíveis alternativos

<b>Categorias</b>	<b>Autocarro a biodiesel</b>	<b>BEB</b>	<b>Autocarro a gás natural</b>	<b>FCEB</b>
<b>Emissões de CO<sub>2</sub></b>	1	3	1	3
<b>Apoios financeiros</b>	0	3	1	3
<b>Limitações operacionais</b>	3	1	3	1
<b>Infraestruturas de carregamento/abastecimento</b>	2	1	2	1
<b>Manutenção</b>	0	3	2	2
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>10</b>

Fonte: Elaboração própria



## Conclusões e Recomendações

No decorrer do presente trabalho procurou-se apresentar uma proposta de renovação da frota de autocarros da MP, visando uma abordagem mais sustentável. Embora os resultados obtidos identifiquem que a transição para uma frota mais sustentável deva ser através de BEB, é importante reconhecer que existem outras alternativas igualmente sustentáveis, capazes de atingir os mesmos objetivos ambientais.

No que diz respeito aos autocarros a GNC, comparativamente aos autocarros a gasóleo, a autonomia é muito semelhante, os custos de manutenção e valor de aquisição são ligeiramente mais elevados e as infraestruturas de abastecimento são mais escassas. Outros fatores como a falta de incentivos financeiros para a sua aquisição e o seu desempenho ambiental muito aquém das metas desejadas, são as principais razões que afastaram este tipo de autocarros como a opção mais adequada para uma frota sustentável.

Uma vez que o hidrogénio já é utilizado pela MP para outros fins, a aquisição de FCEB poderia ser uma opção alternativa para a renovação da frota de autocarros. Se o projeto de produção de hidrogénio verde na BNL, atualmente em curso, for concretizado e associado à instalação um posto de abastecimento (fixo ou móvel), a aquisição desse tipo de autocarros, em pequena escala, poderia ser uma opção operacionalmente viável. Para deslocações de curta distância, os autocarros utilizariam o posto de abastecimento instalado na BNL. Para deslocações de longa distância e/ou situações de emergência, a MP poderia adquirir uma estação móvel de abastecimento de hidrogénio que acompanharia os autocarros neste tipo de missões (se necessário). Esta abordagem permitiria explorar a utilização de FCEB, minimizando o desafio da instalação de infraestruturas de abastecimento em diferentes locais. Contudo, não é aconselhado no curto prazo devido ao seu elevado custo, inexistentes infraestruturas de produção e distribuição em Portugal e, conseqüentemente, à dependência do fornecimento do combustível por entidades externas/estrangeiras, o que pode comprometer missões.

Os biocombustíveis são ainda produtos bastante caros como consequência da disponibilidade e distribuição limitadas. Da comparação dos autocarros movidos biodiesel com os autocarros a gasóleo, concluiu-se que a autonomia e os custos de manutenção são praticamente os mesmos e o valor de aquisição é ligeiramente superior. Uma grande vantagem da transição para autocarros movidos a biodiesel é a não necessidade de adquirir novos autocarros, logo seria uma transição rápida. Nesse sentido, é possível aproveitar a

frota existente modificando apenas o tipo de combustível. Se fosse viável a produção de biodiesel a partir de óleos alimentares usados, dada a existência de diversas menses na MP, esta poderia ser uma boa opção. No entanto, apesar de ser uma energia alternativa que tem menos limitações, a sua adoção não teria os efeitos desejados em termos ambientais (este trabalho não inclui as emissões *well-to-tank*).

Em última análise, o estudo revela que os BEB são a opção mais equilibrada e promissora para a MP no curto prazo. Não produzem emissões, têm uma autonomia um pouco baixa, mas com tendência a aumentar ao longo dos anos, e a manutenção é económica. Por outro lado, o valor de aquisição destes autocarros é bastante elevada e é necessário um investimento em infraestruturas de carregamento. Assim sendo, o investimento inicial é elevado, mas pode ser atenuado com os apoios financeiros disponíveis nacional e internacionalmente. É ainda de salientar que devido aos serviços aleatórios a que a MP está sujeita, a adoção destes veículos requer uma melhor gestão da frota. A implementação de BEB deve ainda estar associada à aquisição e instalação de equipamentos de produção de ER e de armazenamento de energia em baterias. Ao implementar a reciclagem das baterias dos BEB, ou seja, utilizando-as até certo ponto de capacidade antes da substituição, é possível prolongar a sua vida útil. Assim, devem ser reaproveitadas para fornecer energia de *backup*, tornando o processo mais económico e ambientalmente limpo.

Neste sentido, considera-se que os objetivos estabelecidos inicialmente para esta dissertação foram cumpridos. Relativamente ao OE1, verificou-se que já existe uma preocupação com a mobilidade sustentável e a transição energética na MP. Foram identificados vários projetos de implementação de painéis solares térmicos e fotovoltaicos em diversas unidades da MP, assim com a criação de um posto de produção de hidrogénio na BNL, postos de abastecimento elétricos e estudos para a implementação de combustíveis alternativos em diversos meios de transporte. Quanto ao OE2, este estudo reconheceu a necessidade de transição da frota da MP para opções mais ecológicas e eficientes, alinhando-se com as tendências e medidas de mobilidade sustentável em Portugal e a nível internacional. Demonstrou claramente que a atual frota da MP, movida a gasóleo, se encontra bastante envelhecida, com mais de 15 anos, e que o nível de emissões de CO<sub>2</sub> é bastante elevado. Comprovou-se, assim, que tem impactos negativos no meio ambiente e nos custos de manutenção. Para dar resposta a esses problemas foram analisados e comparados diferentes autocarros alternativos, segundo determinadas

categorias. Por fim, para responder ao OE3 conjugou-se a análise categórica com a análise de cenários. Da junção das duas análises resultou que a transição mais adequada à MP para uma frota mais limpa é por meio da adoção de BEB. Concluiu-se também que, para este caso, uma renovação total da frota não é recomendada devido à necessidade de ter autocarros disponíveis para qualquer tipo de empenhamento, o que inclui longas distâncias. Porém, um melhor planeamento poderia facilitar a gestão da frota. Para cumprir com as metas ambientais estabelecidas legalmente, a renovação deveria ser de pelo menos 21 autocarros até 2030, de acordo com o Cenário 3 proposto.

Algumas possibilidades de trabalhos futuros passam por:

- Analisar a viabilidade económica e operacional de outro tipo de mobilidade sustentável (por exemplo: trotinetes, bicicletas, veículos híbridos e autocarros autossuficientes);
- Analisar a viabilidade de transformação/adaptação dos motores a gasóleo para motores elétricos ou a hidrogénio, aproveitando os autocarros já existentes e em boas condições estruturais;
- Analisar a viabilidade de produção interna de biodiesel a partir de óleos alimentares provenientes das messes e Unidades Navais;
- Avaliar a viabilidade e possíveis benefícios de utilizar autocarros de menor porte para determinados percursos.



## Bibliografia

- Abreu, C. (2023). Entrevista para estudo de caso à STCP. Realizada a 10 de abril de 2023
- Alalwan, H., Alminshid, A., & Aljaafari, H. (2019). Promising evolution of biofuel generations. Subject review. *Renewable Energy Focus*, 28, 127-139. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2018.12.006>
- Ang, T., Salem, M., Kamarol, M., Das, H., Nazari, M., & Prabakaran, N. (2022). A comprehensive study of renewable energy sources: Classifications, challenges and suggestions. *Energy Strategy Reviews*, 43. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100939>
- APA. (2023). *Inventário Nacional de Emissões 2023*. [https://apambiente.pt/sites/default/files/\\_Clima/Inventarios/20230421/20230315MemoEmissoes2023.pdf](https://apambiente.pt/sites/default/files/_Clima/Inventarios/20230421/20230315MemoEmissoes2023.pdf)
- APA. (n.d.-a). *Protocolo de Quioto*. Acedido a 3 de abril de 2023. <https://apambiente.pt/clima/protocolo-de-quioto>
- APA. (n.d.-b). *Transportes*. Acedido a 26 de abril de 2023. <https://apambiente.pt/clima/transportes>
- APVGN. (n.d.). *Introdução ao GNC*. Acedido a 1 de maio de 2023. <https://www.apvgn.pt/index.php/introducao-ao-gnc>
- Arefin, M., Nabi, M., Akram, M., Islam, M., & Chowdhury, M. (2020). A Review on Liquefied Natural Gas as Fuels for Dual Fuel Engines: Opportunities, Challenges and Responses. *Energies*, 13. <https://doi.org/10.3390/en13226127>
- Bard, E. (2004). Greenhouse effect and ice ages: historical perspective. *Comptes Rendus Geoscience*, 336, 603–638. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2004.02.005>
- Bargaoui, S., & Nouri, Z. (2021). History of the Human and Nature Relationship, Discovery of Greenhouse Effect and Awareness of the Environmental Problem. *Journal of Economic Science Research*, 4. <https://doi.org/10.30564/jesr.v4i3.3120>
- BCSD Portugal. (n.d.). *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. Acedido a 3 de abril de 2023. <https://ods.pt/ods/>

- Beer, T., Grant, T., Williams, D., & Watson, H. (2002). Fuel-cycle greenhouse gas emissions from alternative fuels in Australian heavy vehicles. *Atmospheric Environment*, 36, 753–763. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(01\)00514-3](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00514-3)
- Bonneuil, C., Choquet, P., & Franta, B. (2021). Early warnings and emerging accountability: Total's responses to global warming, 1971–2021. *Global Environmental Change*, 71. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102386>
- Bryman, A. (2012). *Social Research Methods*. (4th ed.). Oxford University Press.
- CaetanoBus. (n.d.). *H2.City Gold*. Acedido a 1 de maio de 2023. <https://caetanobus.pt/en/buses/h2-city-gold/>
- Cardin, M., Bourani, M., Deng, Y., Neufville, R., Chong, W., Atapattu, R., Sheng, X., & Foo, K. (2013). Quantifying the Value of Flexibility in Oil and Gas Projects: A Case Study of Centralized Vs. Decentralized LNG Production Systems. *Keppel Offshore and Marine Technology Review*, 13. [https://web.mit.edu/ardent/www/Real\\_opts\\_papers/Cardin\\_KOMTech2013%20.pdf](https://web.mit.edu/ardent/www/Real_opts_papers/Cardin_KOMTech2013%20.pdf)
- CARRIS. (n.d.). A CARRIS. Acedido a 9 de abril de 2023. <https://www.carris.pt/>
- Chan, N. (2016). Climate Contributions and the Paris Agreement: Fairness and Equity in a Bottom-Up Architecture. *Ethics & International Affairs*, 30, 291–301. <https://doi.org/10.1017/S0892679416000228>
- Chandler, K., Melendez, M. & Ebert, E. (2006). *Washington Metropolitan Area Transit Authority: Compressed Natural Gas Transit Bus Evaluation*. National Renewable Energy Laboratory. <https://www.nrel.gov/docs/fy06osti/37626.pdf>
- Chen, Z., Yin, Y., & Song, Z. (2018). A cost-competitiveness analysis of charging infrastructure for electric bus operations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 93, 351-366. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.06.006>
- Civitas. (2013). *Smart choices for cities: Clean buses for your city*. <https://civitas.eu/resources/civitas-policy-note-smart-choices-for-cities-clean-buses-for-your-city>

Climate Watch. (n.d.). *Historical GHG Emissions*. Climate Watch. Acedido a 27 de março de 2023. <https://www.climatewatchdata.org/>

CMC. (n.d.). *Autoridade de Transportes*. Acedido a 30 de abril de 2023. <https://www.cascais.pt/>

Comissão Europeia. (2009). *Alterações climáticas - de que se trata? - Uma introdução para os jovens*. [http://www.louleadapta.pt/uploads/document/8\\_CE\\_Alteracoes\\_climaticas\\_de\\_que\\_se\\_t\\_rata.pdf](http://www.louleadapta.pt/uploads/document/8_CE_Alteracoes_climaticas_de_que_se_t_rata.pdf)

Conselho Europeu. (n.d.). *Cronologia – Acordo de Paris sobre as alterações climáticas*. Acedido a 3 de abril de 2023. <https://www.consilium.europa.eu/pt/policies/climate-change/paris-agreement/timeline-paris-agreement/>

Costa, C., Barbosa, J., Gonçalves, R., Castro, H., Campo, F., & Lanceros-Méndez, S. (2021). Recycling and environmental issues of lithium-ion batteries: Advances, challenges and opportunities. *Energy Storage Materials*, 37, 433–465. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2021.02.032>

Crawford, E. (1997). Arrhenius' 1896 Model of the Greenhouse Effect in Context. *Ambio*, 26, 6–11. <https://www.jstor.org/stable/4314543>

Creswell, J. (2009). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (3rd ed.). SAGE Publications. <https://doi.org/10.1002/nha3.20258>

Decreto n.º 14/2003 do Ministério dos Negócios Estrangeiros. (2003). Diário da República: Série I-A de 2003-04-04, n.º 80. <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto/14-2003-224623>

Decreto-Lei n.º 10/2023 da Presidência do Conselho de Ministros. (2023). Diário da República: Série I de 2023-02-08, n.º 28. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/10-2023-207177836>

Decreto-Lei n.º 42-A/2016 do Ministério do Ambiente. (2016). Diário da República: Série I de 2016-08-12, n.º 155, 1º Suplemento. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/42-a-2016-75150234>

Decreto-Lei n.º 89/2008 do Ministério da Economia e da Inovação. (2008). Diário da República: Série I de 2008-05-30, n.º 104. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/89-2008-448966>

Delicado, A., & Schmidt, L. (2014). *Ambiente, Alterações Climáticas, Alimentação e Energia: A Opinião dos Portugueses no Contexto Europeu*. (1st ed.). Imprensa de Ciências Sociais. [ICS\\_LSchmidt\\_ADelicado\\_Ambiente\\_LEN.pdf \(ul.pt\)](#)

Despacho n.º 149/2020 do Gabinete do Ministro. (2020). Diário da República: Série II de 2020-01-07, n.º 4, Parte C. <https://files.dre.pt/2s/2020/01/004000000/0004600051.pdf>

Despacho n.º 18/94 do Almirante CEMA. (1994).

Diretiva 2014/94/UE do Parlamento Europeu e do Conselho. (2014). Jornal Oficial da UE. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0094>

Dynamic – Measurement Control Solutions, LLC. (n.d.). Fuel Cells. Acedido a 27 de fevereiro de 2023. <https://www.dynamicrep.com/electrical-components-for-fuel-cell-control>

ECA. (2019). *EU support for energy storage: Briefing paper*. [https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/BRP\\_ENERGY/BRP\\_ENERGY\\_EN.pdf](https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/BRP_ENERGY/BRP_ENERGY_EN.pdf)

ENBRIDGE. (n.d.). *Hydrogen*. Acedido a 28 de março de 2023. <https://www.enbridgegas.com/sustainability/clean-heating/hydrogen>

EPA. (2023). *Understanding Global Warming Potentials*. <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>

Estado Maior da Armada. (2022). *Diretiva Estratégica da Marinha 2022*.

Fernandes, I. (2021). *Avaliação de medidas de eficiência energética numa frota de transportes coletivos urbanos* [Dissertação de mestrado, Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa (IST-UL)]. Repositório do Instituto Superior Técnico. [Avaliação de medidas de eficiência energética numa frota de transportes coletivos urbanos – Scholar \(ulisboa.pt\)](#)

Fernandes, J. (2022). *Bus fleet transition: assessment of the economic and environmental impacts* [Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto].

Repositório aberto da Universidade do Porto. [Repositório Aberto da Universidade do Porto: Bus fleet transition: assessment of the economic and environmental impacts \(up.pt\)](#)

Ferreira, P. (2020). *Desenvolvimento e Alterações Climáticas: impactos e (in)sustentabilidade*. <https://fecongd.org/pdf/AlteracoesClimaticas%20net.pdf>

Fleming, J. R. (1999). Joseph Fourier, the ‘greenhouse effect’, and the quest for a universal theory of terrestrial temperatures. *Endeavour*, 23, 72–75. [https://doi.org/10.1016/S0160-9327\(99\)01210-7](https://doi.org/10.1016/S0160-9327(99)01210-7)

Forrest, K., Kinnon, M., Tarroja, B., & Samuelsen, S. (2020). Estimating the technical feasibility of fuel cell and battery electric vehicles for the medium and heavy duty sectors in California. *Applied Energy*, 276. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115439>

Fourier, J. (1827). Mémoire sur les Températures du Globe Terrestre et des Espaces Planétaires. In J. Darboux (Ed.), *Oeuvres de Fourier: Publiées par les soins de Gaston Darboux* (pp. 95-126). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139568159.005>

Fundo Ambiental. (n.d.). *Missão*. Acedido a 17 de abril de 2023. <https://www.fundoambiental.pt/quem-somos/quem-somos/missao-e-entidade-gestora.aspx>

Gates, B. (2021). *Como evitar um desastre climático: as soluções que temos e as inovações necessárias* (1st ed.). Porto Editora.

Gobet, M. (1994). *From anticipation to action: A handbook of strategic prospective*. Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. <http://en.lapropective.fr/dyn/anglais/ouvrages/from-anticipation.pdf>

Gomes, F. (2023). Entrevista exploratória à MP. Realizada a 28 de fevereiro de 2023.

Hao, H., Liu, Z., Zhao, F., & Li, W. (2016). Natural gas as vehicle fuel in China: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 521–533. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.015>

Helsingen, E. (2015). *Adiabatic compressed air energy storage* [Dissertação de mestrado, Norwegian University of Science and Technology]. Repositório da Norwegian University

of Science and Technology. <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2350057>

Houghton, J. (2004). *Global Warming: The Complete Briefing*. (3rd ed.). Cambridge University Press.

<https://www.researchgate.net/publication/288653556> *Global Warming The Complete Briefing*

IEA, & NEA. (2020). *Projected Costs of Generating Electricity*. <https://www.iea.org/reports/projected-costs-of-generating-electricity-2020>

IPCC. (2013). *Climate change 2013: The Physical Science Basis*. <https://www.ipcc.ch/>

IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. <https://www.ipcc.ch/>

IPCC. (2018). *Aquecimento Global de 1,5°C*. <https://www.ipcc.ch/>

IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. <https://www.ipcc.ch/>

IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. <https://www.ipcc.ch/>

IRENA. (2022). *Renewable Power Generation Costs in 2021*. <https://www.irena.org/>

Khan, M., Yasmin, T., & Shakoor, A. (2015). Technical overview of compressed natural gas (CNG) as a transportation fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 785–797. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.053>

Khan, N., Sudhakar, K., & Mamat, R. (2021). Role of Biofuels in Energy Transition, Green Economy and Carbon Neutrality. *Sustainability*, 13. <https://doi.org/10.3390/su132212374>

Kuckshinrichs, W. (2021). LCOE: A Useful and Valid Indicator—Replica to James Loewen and Adam Szymanski. *Energies*, 14. <https://doi.org/10.3390/en14020406>

Lei n.º 98/2021 da Assembleia da República. (2021). Diário da República: Série I de 2021-12-31, n.º 253. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/lei/98-2021-176907481>

Leitão, A. (2022). *As alterações climáticas e os transportes: As políticas públicas de mitigação de emissões no setor dos transportes em Portugal* [Dissertação de mestrado, Faculdade de Letras da

Universidade do Porto]. Repositório aberto da Universidade do Porto. <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/145213>

Marconi, M., & Lakatos, E. (2003). *Fundamentos de metodologia científica*. (5th ed.). Atlas. [https://docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy\\_of\\_historia-i/historia-ii/china-e-india](https://docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy_of_historia-i/historia-ii/china-e-india)

MDGMonitor. (n.d.). *Category: Millennium Development Goals*. Acedido a 3 de abril de 2023. <https://www.mdgmonitor.org/millennium-development-goals/>

Mensah, J. (2019). Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review. *Cogent Social Sciences*, 5. <https://doi.org/10.1080/23311886.2019.1653531>

Mitali, J. Dhinakaran, S. & Mohamad, A. (2022). Energy storage systems: a review. *Energy Storage and Saving*, 1, 166-216. <https://doi.org/10.1016/j.enss.2022.07.002>

Mitchell, J. (1989). The “Greenhouse” effect and climate change. *Reviews of Geophysics*, 27. <https://doi.org/10.1029/RG027i001p00115>

Nações Unidas. (1987). *Our Common Future*. <https://digitallibrary.un.org/record/139811>

Nações Unidas. (1992). *Declaração do Rio sobre ambiente e desenvolvimento*. [https://apambiente.pt/sites/default/files/A\\_APA/Cidadania\\_ambiental/AssuntosInternacionais/1992\\_Declaracao\\_Rio.pdf](https://apambiente.pt/sites/default/files/A_APA/Cidadania_ambiental/AssuntosInternacionais/1992_Declaracao_Rio.pdf)

Nações Unidas. (n.d.). *Causas e Efeitos das Mudanças Climáticas*. Acedido a 19 de fevereiro de 2023. <https://www.un.org/pt/climatechange/science/causes-effects-climate-change>

Nisa, T. (2014). *Avaliação Económica de Sistemas Solares Fotovoltaicos Residenciais* [Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa do Instituto Politécnico de Lisboa]. Repositório do Instituto Politécnico de Lisboa. <https://repositorio.ipl.pt/handle/10400.21/4318>

Nouni, M., Jha, P., Sarkhel, R., Banerjee, C., Tripathi, A., & Manna, J. (2021). Alternative fuels for decarbonisation of road transport sector in India: Options, present status, opportunities, and challenges. *Fuel*, 305. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121583>

Our World in Data. (n.d.). *Population, 1950 to 2021*. Acedido a 3 de abril de 2023. <https://ourworldindata.org/>

Perumal, S., Lusby, R., & Larsen, J. (2022). Electric bus planning & scheduling: A review of related problems and methodologies. *European Journal of Operational Research*, 301, 385-413. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.10.058>

Petrescu, R., Aversa, R., Akash, B., Abu-Lebdeh, T., Apicella, A., & Petrescu, F. (2018). Buses Running on Gas. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11, 186–201. <https://doi.org/10.3844/ajeassp.2018.186.201>

Pinto, J. (2020). *Mobilidade Urbana: Alternativas à utilização do transporte particular nos centros urbanos* [Dissertação de mestrado, Faculdade de Direito da Universidade de Lisboa]. Repositório da Universidade de Lisboa. <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/44703>

Ramalhete, R. (2023). Entrevista exploratória à UVE. Realizada a 21 de abril de 2023.

Reid, A., Lonza, L., Rose, K., Maas, H., & Hass, H. (2011). *EU renewable energy targets in 2020: Analysis of scenarios for transport*. [https://www.researchgate.net/publication/306010668\\_EU\\_renewable\\_energy\\_targets\\_in\\_2020\\_Analysis\\_of\\_scenarios\\_for\\_transport](https://www.researchgate.net/publication/306010668_EU_renewable_energy_targets_in_2020_Analysis_of_scenarios_for_transport)

Resolução do Conselho de Ministros n.º 1/2008 da Presidência do Conselho de Ministros. (2008). Diário da República: Série I de 2008-01-04, n.º 3. <https://dre.pt/dre/detalhe/resolucao-conselho-ministros/1-2008-386780>

Resolução do Conselho de Ministros n.º 104/2020 da Presidência do Conselho de Ministros. (2020). Diário da República: Série I de 2020-11-24, n.º 229. <https://dre.pt/dre/detalhe/resolucao-conselho-ministros/104-2020-149220156>

Resolução do Conselho de Ministros n.º 107/2019 da Presidência do Conselho de Ministros. (2019). Diário da República: Série I de 2019-07-01, n.º123. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/resolucao-conselho-ministros/107-2019-122777644>

Resolução do Conselho de Ministros n.º 119/2004 da Presidência do Conselho de Ministros. (2004). Diário da República: Série I-B de 2004-07-31, n.º 179.

<https://dre.pt/dre/detalhe/resolucao-conselho-ministros/119-2004-501220?ts=1674172800034>

Resolução do Conselho de Ministros n.º 2/2011 da Presidência do Conselho de Ministros. (2011). Diário da República: Série I de 2011-01-12, n.º 8. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/resolucao-conselho-ministros/2-2011-485640>

Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020 da Presidência do Conselho de Ministros. (2020). Diário da República: Série I de 2020-07-10, n.º 133. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/resolucao-conselho-ministros/53-2020-137618093>

Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020 da Presidência do Conselho de Ministros. (2020). Diário da República: Série I de 2020-07-10, n.º 133. <https://dre.pt/dre/detalhe/resolucao-conselho-ministros/53-2020-137618093>

Resolução do Conselho de Ministros n.º 63/2020 da Presidência do Conselho de Ministros. (2020). Diário da República: Série I de 2020-08-14, n.º 158. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/resolucao-conselho-ministros/63-2020-140346286>

Resolução do Conselho de Ministros n.º 72/98 da Presidência do Conselho de Ministros. (1998). Diário da República: Série I-B de 1998-06-29, n.º 147. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/resolucao-conselho-ministros/72-1998-47782>

Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2022). *Energy*. Our World In Data. <https://ourworldindata.org/energy#citation>

Santos, N. (2022). *Qual o futuro do hidrogénio na Marinha?* [Trabalho de investigação individual, Instituto Universitário Militar]. Repositório Comum. <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/39803>

Sayer, M., Ajanovic, A., & Haas, R. (2022). On the economics of a hydrogen bus fleet powered by a wind park – A case study for Austria. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47, 33153–33166. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.07.195>

Silva, A. (2015). *Utilização de Sistemas de Armazenamento de Energia para Melhoria das Condições de Estabilidade de Redes Isoladas* [Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da

Universidade do Porto]. Repositório aberto da Universidade do Porto. <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/79557>

Silva, A., & Fernandes, J. (2020). *Acordo de Paris 2015-2020*. República Portuguesa. <https://www.portugal.gov.pt/pt/gc22/comunicacao/documento?i=acordo-de-paris-2015-2020>

Šimić, Z., Knežević, G., Topić, D., & Pelin, D. (2021). Battery energy storage technologies overview. *International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems*, 12, 53-65. <https://doi.org/10.32985/ijeces.12.1.6>

Sladkowski, A. (2020). *Ecology in Transport: Problems and Solutions*. (1st ed.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-42323-0>

Soukiazes, A. (2009). *Adaptação das Zonas Costeiras às Alterações Climáticas em Portugal* [Dissertação de mestrado, Universidade de Aveiro]. Repositório da Universidade de Aveiro. <https://ria.ua.pt/handle/10773/583>

Sousa, R. Serôdio, J. (2023). Entrevista para estudo de caso à CMC. Realizada a 2 de junho de 2023.

Stake, R. (1995). *The Art of Case Study Research*. (1st ed.). SAGE Publications. <https://us.sagepub.com/en-us/nam/the-art-of-case-study-research/book4954>

STCP. (n.d.). Relatórios e contas. Acedido a 15 de abril de 2023. <https://www.stcp.pt/pt/viajar/>

Taylor, M., Ralon, P., Al-Zoghoul, S., Jochum, M., & Gielen, D. (2022). *Renewable Power Generation Costs in 2021*. IRENA. <https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2021>

Tyndall, J. (1861). The Bakerian Lecture: On the Absorption and Radiation of Heat by Gases and Vapours, and on the Physical Connexion of Radiation, Absorption, and Conduction. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 151, 1-36. <https://www.jstor.org/stable/108724>

United Nations Environment Programme. (1975). *The Belgrade Charter: a framework for environmental education*. UNESCO.

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000017772?posInSet=7&queryId=edf78669-b3b5-4471-a1f6-e5fa4618d827>

United Nations Industrial Development Organization. (2021). *Supporting the establishment and development of the International Hydrogen Energy Centre*.

[https://www.unido.org/sites/default/files/files/2021-09/Supporting%20the%20establishment%20and%20development%20of%20the%20International\\_0.pdf](https://www.unido.org/sites/default/files/files/2021-09/Supporting%20the%20establishment%20and%20development%20of%20the%20International_0.pdf)

Vieira, J. (2023). Entrevista para estudo de caso à CARRIS. Realizada a 14 de abril de 2023.

Vultos, D. (2012). *Desenvolvimento Sustentável: A utilização do Biodiesel no Concelho do Seixal*. [Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa].

Repositório da Universidade Nova de Lisboa. <https://run.unl.pt/handle/10362/4659/browse?type=author&order=ASC&rpp=5&value=Vultos%2C+Daniel+Alexandre+Almeida+Namorado+dos>

Weil, M., Peters, J., & Baumann, M. (2020). Stationary battery systems: Future challenges regarding resources, recycling, and sustainability. In Bleicher, A. & Pehlken, A. (Eds.), *The Material Basis of Energy Transitions* (p.71-89). Academic Press.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819534-5.00005-2>

Will, A. (2009). *AMBIDIESEL – Produção de Combustíveis Alternativos* [Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa do Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE-IUL)].

Repositório do ISCTE-IUL. <https://repositorio.iscte-iul.pt/handle/10071/1834>

Woo, J., Choi, H. & Ahn, J. (2017). Well-to-wheel analysis of greenhouse gas emissions for electric vehicles based on electricity generation mix: A global perspective. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 51, 340- 350.

<https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.01.005>

World Business Council for Sustainable Development. (2004). *Mobility 2030: Meeting the challenges to sustainability*. <https://www.wbcsd.org/Programs/Cities-and->

[Mobility/Sustainable-Cities/City-Business-Collaboration/SiMPlify/Resources/Mobility-2030-Meeting-the-challenges-to-sustainability-Executive-Summary-2004](#)

World101. (2017). *The Greenhouse Effect*. Acedido a 15 de fevereiro de 2023. <https://world101.cfr.org/global-era-issues/climate-change/greenhouse-effect>

Yin, R. (2001). *Estudo de caso: planejamento e métodos* (2nd ed.). SAGE Publications.

Yong, J., Ramachandaramurthy, V., Tan, K., & Mithulananthan, N. (2015). A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 365-385. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.130>

## **Apêndices**

**Apêndice 1 – Tipos de hidrogénio e processo de produção de hidrogénio verde**

**Apêndice 2 - Guião de entrevista CARRIS, STCP e CMC**

**Apêndice 3 – Guião de entrevista DT**

**Apêndice 4 – Cenários de renovação da frota**

**Apêndice 5 – Escala para classificação das categorias**

## Apêndice 1 – Tipos de hidrogénio e processo de produção de hidrogénio verde

De acordo com a empresa Enbridge (n.d.), o hidrogénio pode ser classificado em oito tipos (Figura 15):

- Verde, se durante a produção for usado 100% de ER;
- Amarelo, se for produzido através da junção de ER com combustíveis fósseis;
- Rosa ou roxo, no caso de a produção ser através de energia nuclear;
- Azul, quando é extraído do gás natural, sendo que o CO<sub>2</sub> é capturado e depois reservado ou reutilizado;
- Azul-turquesa, se for produzido através do CH<sub>4</sub>;
- Castanho ou preto, caso a extração seja proveniente do carvão;
- Cinzento, quando é extraído do gás natural;
- Branco, se a produção tiver como fonte um subproduto resultante do processo industrial.

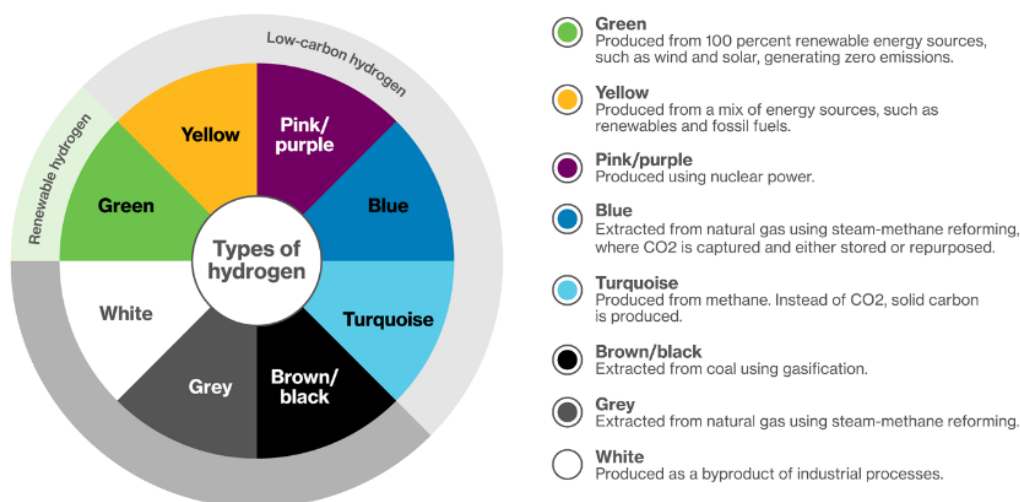


Figura 15 – Hydrogen types

Fonte: Enbridge (n.d.)

Na produção de hidrogénio verde (Figura 16), o eletrolisador, isto é, o conversor eletroquímico que faz a eletrólise, é alimentado por energia gerada por fontes renováveis e abastecido com água. De seguida, durante o processo de eletrólise, ocorre a separação das moléculas de oxigénio e hidrogénio contidas na água. Numa fase seguinte, o hidrogénio é pressurizado e armazenado em tanques ou cilindros na forma gasosa ou líquida. Por fim, é transferido para uma célula ou pilha de combustível para produzir eletricidade sempre que for necessário, podendo ficar armazenado durante vários anos (Helsingen, 2015).

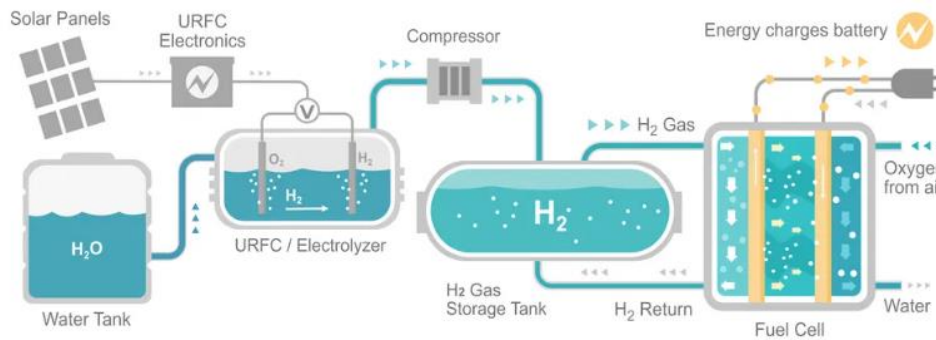


Figura 16 – Produção de hidrogénio verde a partir de ER

Fonte: Dynamic – Measurement Control Solutions, LLC (n.d.)

## Apêndice 2 – Guião de entrevista CARRIS, STCP e CMC

As seguintes questões foram elaboradas no âmbito da Dissertação de Mestrado sobre o tema “Mobilidade Sustentável na Marinha Portuguesa”. Para garantir uma compreensão mais adequada das questões, é importante referir que a palavra “autocarro” compreende os veículos com capacidade para transportar 8 ou mais passageiros e entende-se por “autocarro sustentável” os seguintes tipos: autocarro a gás natural, autocarro 100% elétrico, autocarro elétrico a hidrogénio e autocarro a biocombustível.

- 1) A instituição já utiliza algum autocarro sustentável? Se sim, quais e que motivos levaram a instituição à descarbonização da sua frota?
- 2) A sua aquisição teve apoio financeiro estatal ou internacional?
- 3) Quais os fatores que considera mais limitativos nos autocarros adquiridos? Essas limitações foram tidas em consideração na escolha da rota para este tipo de autocarros? Justifique.
- 4) Quanto tempo espera que estejam ao serviço? O que tenciona a instituição fazer no final da sua vida útil?
- 5) Qual é o sistema atual de carregamento que a instituição tem para os autocarros sustentáveis?
- 6) A eletricidade usada nessas estações de carregamento é proveniente de energia limpa, isto é, de energias renováveis?
- 7) Tendo em conta o período de recarga a que esses veículos estão sujeitos, é necessário realizar uma gestão da frota?
- 8) As manutenções desses veículos são realizadas por uma empresa externa ou pela própria instituição?

- 9) Em termos de manutenção, existem diferenças entre os autocarros ecológicos e os autocarros a gásóleo ou gasolina? Tais diferenças refletem-se em termos financeiros? Formação da mão-de-obra? Estrutura de apoio à atividade de manutenção?
- 10) Quais os aspetos que considera poderem vir a ser melhorados com vista a um aumento da eficiência dos transportes coletivos de passageiros?
- 11) A instituição tem intenções de expandir a sua frota movida a energias alternativas?

### Apêndice 3 – Guião de entrevista DT

As seguintes questões foram elaboradas no âmbito da Dissertação de Mestrado sobre o tema “Mobilidade Sustentável na Marinha Portuguesa”. Para garantir uma compreensão mais adequada das questões, é importante referir que a palavra “autocarro” compreende os veículos das tipologias militares E, F e G e entende-se por “autocarro sustentável” os seguintes tipos: autocarro a gás natural, autocarro 100% elétrico, autocarro elétrico a hidrogénio e autocarro a biocombustível.

- 1) Atendendo ao constante avanço tecnológico e às atuais políticas de incentivo para o setor público, o que inclui as Força Armadas, de que forma encara uma possível transição progressiva da frota atual para uma frota movida a energias alternativas mais sustentáveis?
- 2) Considera viável a substituição dos autocarros mais antigos e poluentes por autocarros com menor pegada ambiental?
- 3) Considera que o atual processo de aquisição de viaturas dificulta a transição para uma mobilidade sustentável? Se sim, que aspetos considera virem a ser melhorados?
- 4) A DT é detentora de algum sistema centralizado de gestão que possibilita programar antecipadamente o tipo de viagem a realizar, isto é, distância a percorrer, duração do serviço e unidade de destino?
- 5) Do seu ponto de vista, quais as principais vantagens, desvantagens, desafios e riscos associados à implementação de cada um dos tipos de autocarros sustentáveis na Marinha em termos de infraestruturas, manutenção e pessoal? (Preencher a tabela da página 2)
- 6) A existência destes tipos de autocarros na Marinha exigirá uma melhor gestão da frota? Porquê?
- 7) Na sua opinião, que fonte de energia alternativa deverá a Marinha adotar e porquê?

	Infraestruturas (ex: oficinas, postos de carregamento, ...)	Manutenção e pessoal (ex: formação, materiais, ...)	Outras observações
<b>Autocarros a gás natural</b>			
<b>Autocarros 100% elétricos</b>			
<b>Autocarros elétricos a hidrogénio</b>			
<b>Autocarros a biocombustíveis</b>			

#### Apêndice 4 – Cenários de renovação da frota

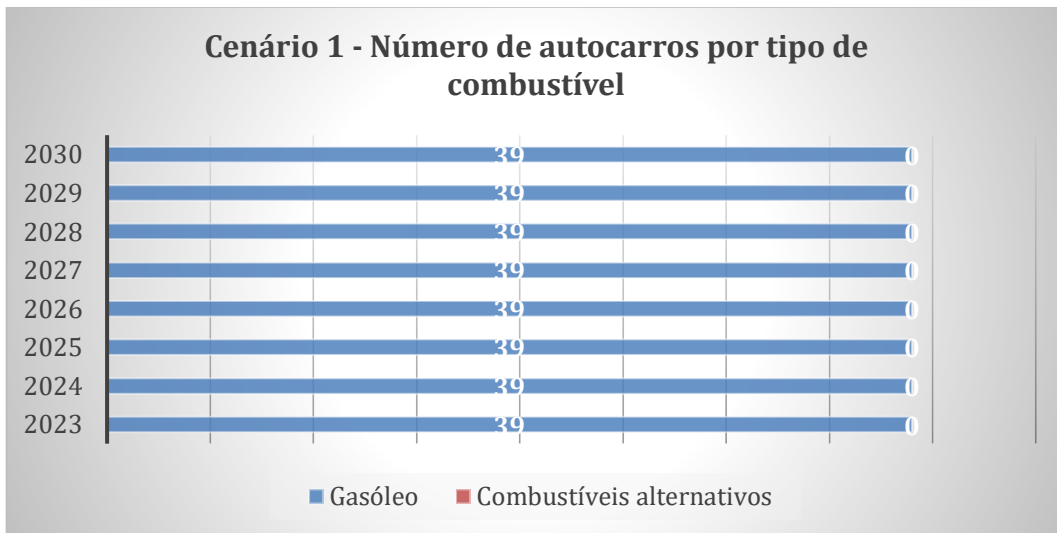


Figura 17 – Cenário 1 de renovação da frota

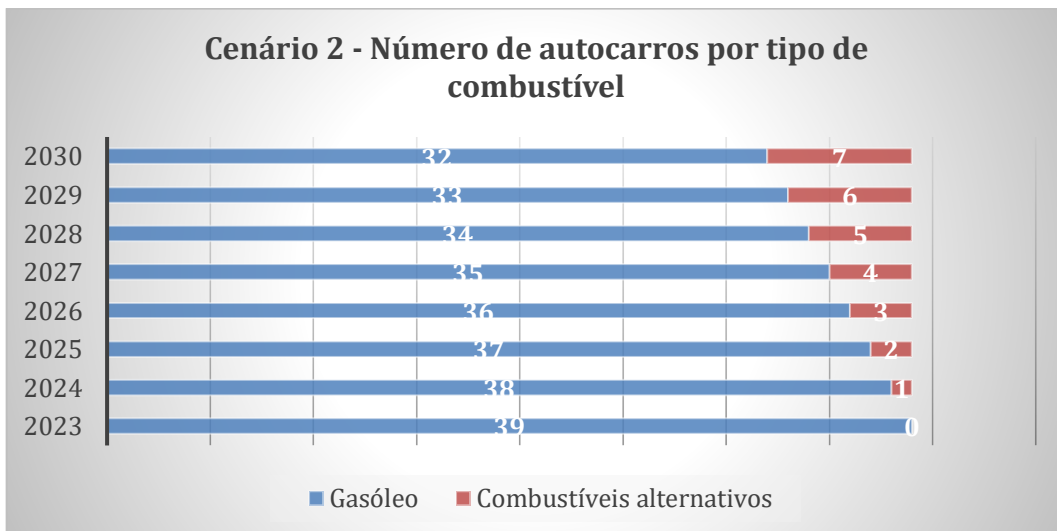


Figura 18 - Cenário 2 de renovação da frota

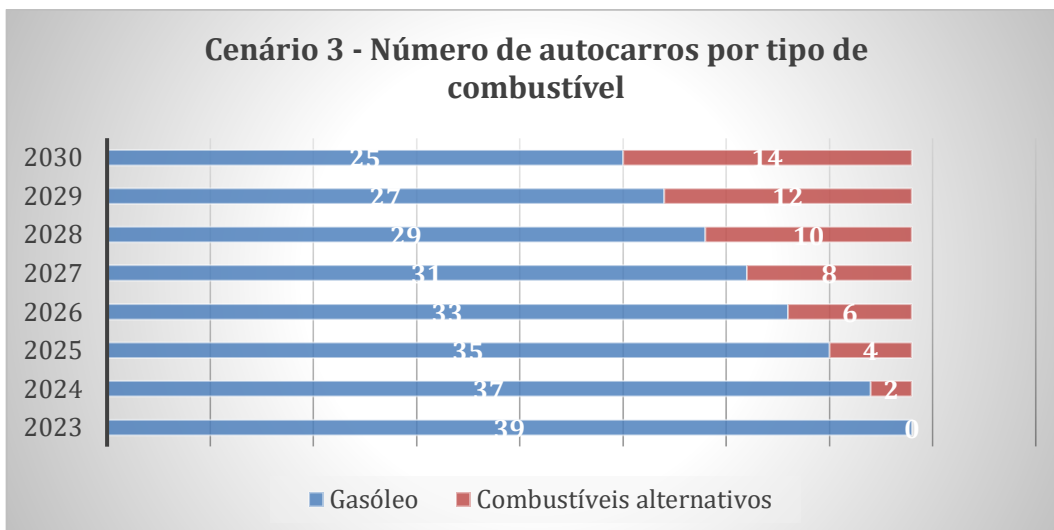


Figura 19 - Cenário 3 de renovação da frota

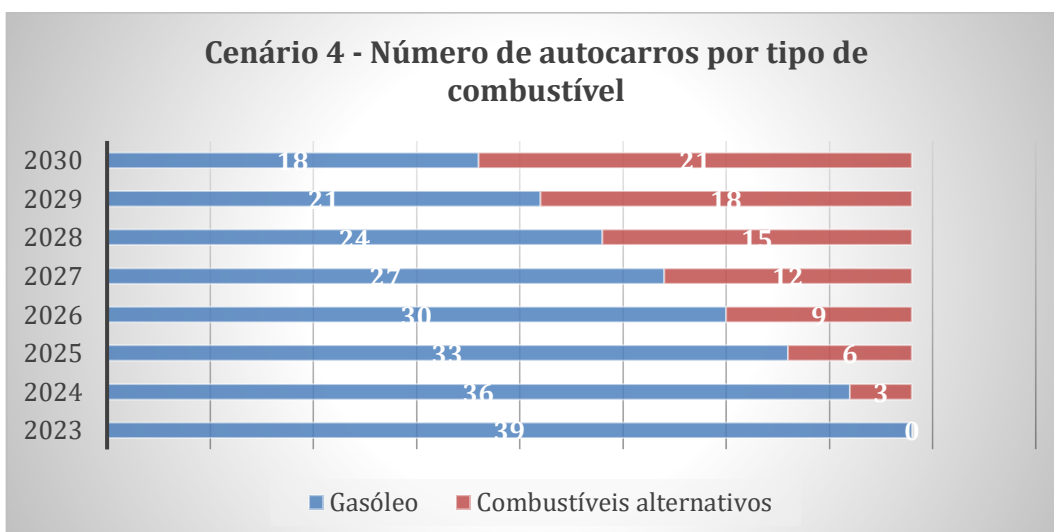


Figura 20 - Cenário 4 de renovação da frota

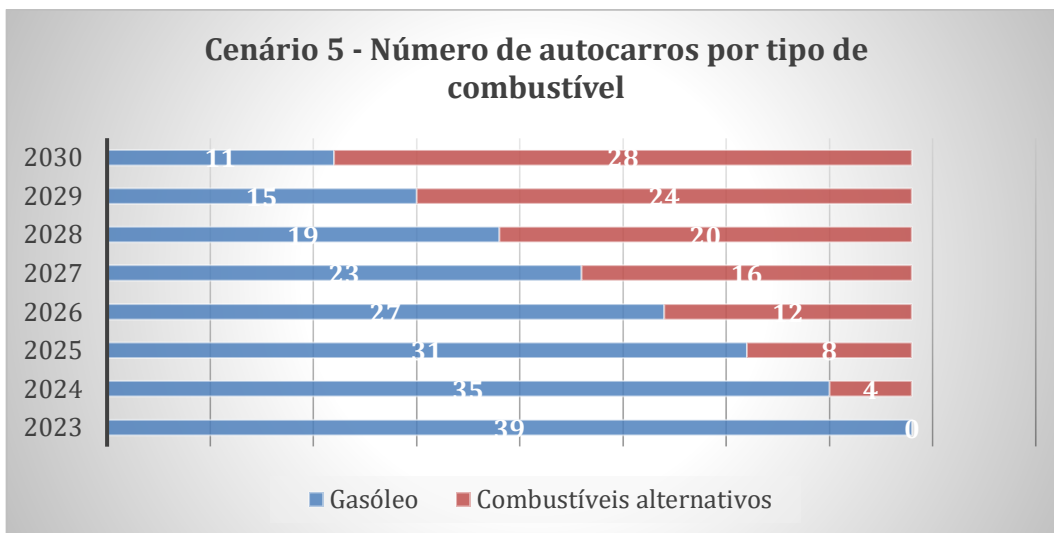


Figura 21 - Cenário 5 de renovação da frota

## **Apêndice 5 – Escala para classificação das categorias**

### **Emissões de CO<sub>2</sub> (*Tank-to-wheel*):**

- 0: Não se aplica/ não há informação disponível;
- 1: Alta emissão de CO<sub>2</sub>, impacto ambiental significativo;
- 2: Emissão moderada de CO<sub>2</sub>, impacto ambiental moderado;
- 3: Baixa emissão de CO<sub>2</sub>, impacto ambiental mínimo.

### **Apoios financeiros:**

- 0: Não se aplica/ não há informação disponível;
- 1: Inexistência de apoios financeiros;
- 2: Apoios financeiros limitados ou parciais;
- 3: Apoios financeiros abrangentes e significativos.

### **Limitações operacionais:**

- 0: Não se aplica/ não há informação disponível;
- 1: Limitações operacionais significativas;
- 2: Algumas limitações operacionais;
- 3: Poucas ou nenhuma limitação operacional.

### **Infraestruturas de carregamento/abastecimento:**

- 0: Não se aplica/ não há informação disponível;
- 1: Infraestruturas inexistentes;
- 2: Poucas infraestruturas;
- 3: Várias infraestruturas.

### **Manutenção:**

- 0: Não se aplica/ não há informação disponível;
- 1: Necessidade frequente de manutenção;
- 2: Necessidade moderada de manutenção;
- 3: Baixa ou nenhuma necessidade de manutenção.

## **Anexos**

**Anexo 1 - Objetivos nacionais para o horizonte 2030**

**Anexo 2 - Box and whisker plots of costs of key life cycle phases for the most common bus technologies**

**Anexo 3 - Comparison of EV battery types**

**Anexo 4 - Processo de aquisição de veículos na MP**

**Anexo 5 - Autocarros da MP**

## Anexo 1 - Objetivos nacionais para o horizonte 2030

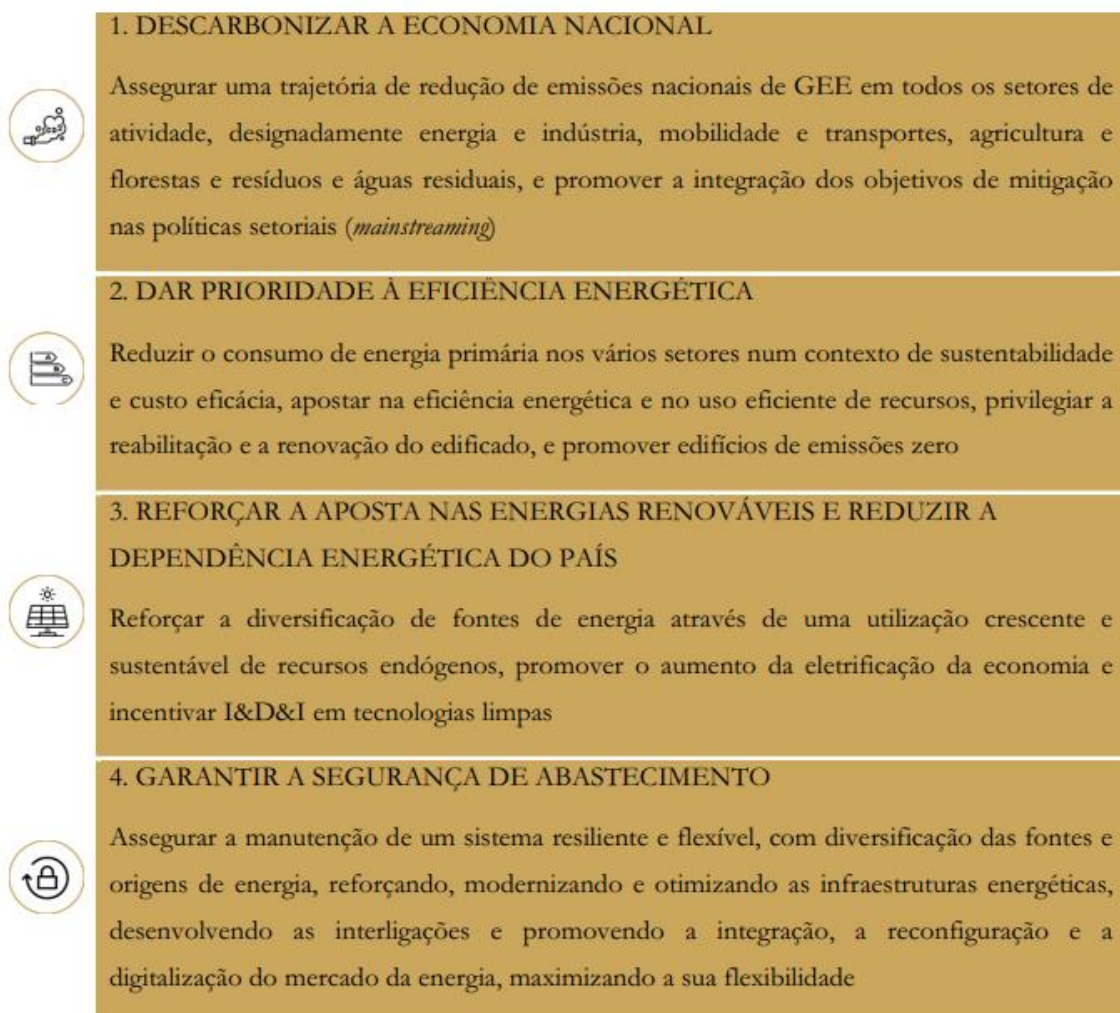


Figura 22 - Objetivos nacionais para o horizonte 2030

Fonte: Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020





	<p><b>5. PROMOVER A MOBILIDADE SUSTENTÁVEL</b></p>
	<p>Descarbonizar o setor dos transportes, fomentando a transferência modal e um melhor funcionamento das redes de transporte coletivo, promovendo a mobilidade elétrica e ativa e o uso de combustíveis alternativos limpos</p>
	<p><b>6. PROMOVER UMA AGRICULTURA E FLORESTA SUSTENTÁVEIS E POTENCIAR O SEQUESTRO DE CARBONO</b></p>
	<p>Reduzir a intensidade carbónica das práticas agrícolas e promover uma gestão agroflorestal eficaz contribuindo para aumentar a capacidade de sumidouro natural</p>
	<p><b>7. DESENVOLVER UMA INDÚSTRIA INOVADORA E COMPETITIVA</b></p>
	<p>Promover a modernização industrial apostando na inovação, na descarbonização, digitalização (indústria 4.0) e na circularidade, contribuindo para o aumento da competitividade da economia</p>
	<p><b>8. GARANTIR UMA TRANSIÇÃO JUSTA, DEMOCRÁTICA E COESA</b></p>
	<p>Reforçar o papel do cidadão como agente ativo na descarbonização e na transição energética, criar condições equitativas para todos, combater a pobreza energética, criar instrumentos para a proteção dos cidadãos vulneráveis e promover o envolvimento ativo dos cidadãos e a valorização territorial</p>

Figura 23 - Objetivos nacionais para o horizonte 2030 (continuação)

Fonte: Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020

Anexo 2 - Box and whisker plots of costs of key life cycle phases for the most common bus technologies

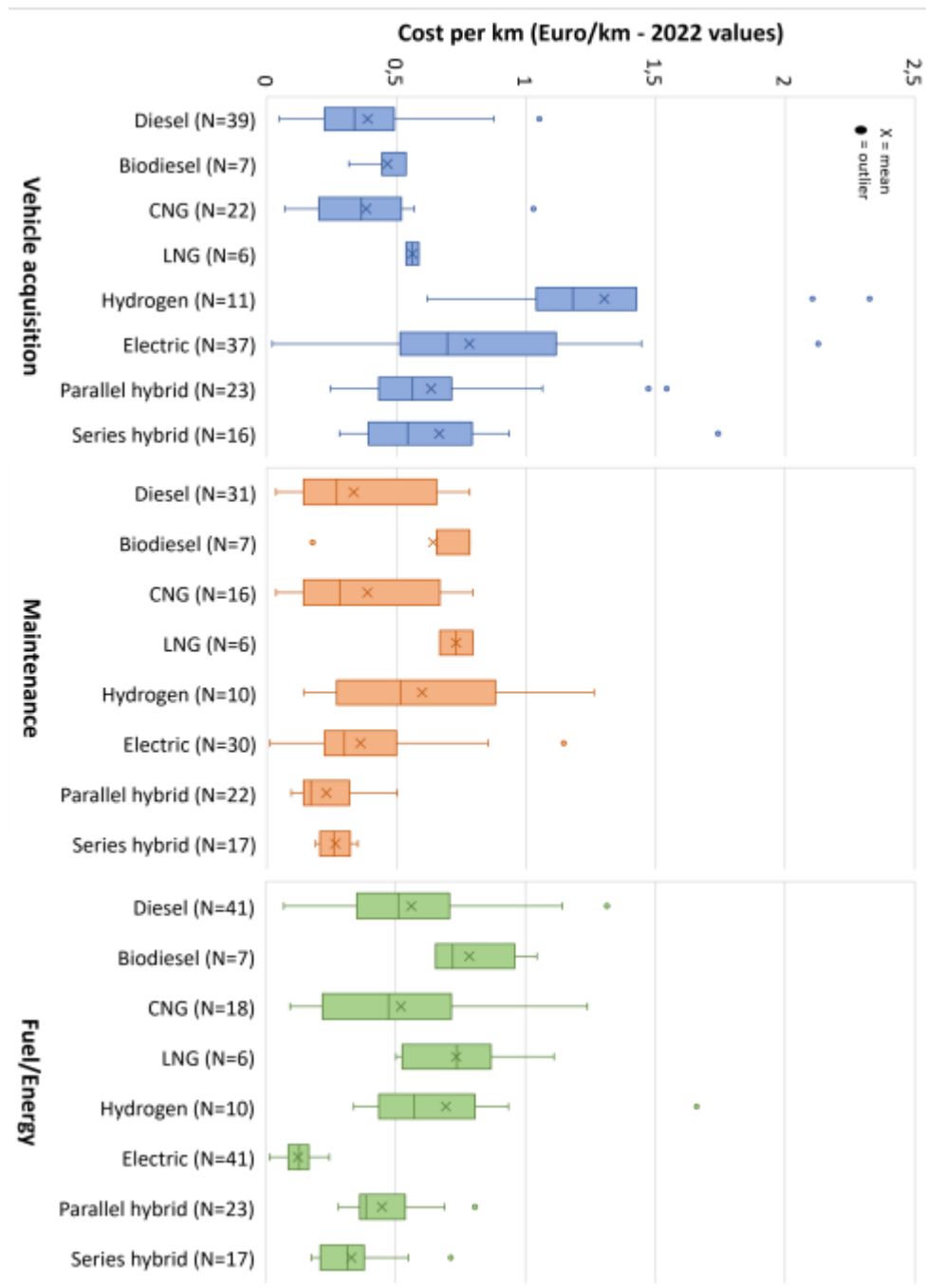


Figura 24 - Box and whisker plots of costs of key life cycle phases for the most common bus technologies

Fonte: Fernandes (2022)

### Anexo 3 - Comparison of EV battery types

Battery type	Nominal voltage (V)	Energy density (Wh/kg)	Volumetric energy density (Wh/L)	Specific power (W/kg)	Life cycle	Self discharge (% per month)	Memory effect	Operating temperature (°C)	Production cost (\$/kWh)
Lead acid (Pb-acid)	2.0	35	100	180	1000	< 5	No	-15 to +50	60
Nickel-cadmium (Ni-Cd)	1.2	50-80	300	200	2000	10	Yes	-20 to +50	250-300
Nickel-metal hydride (Ni-MH)	1.2	70-95	180-220	200-300	< 3000	20	Rarely	-20 to +60	200-250
ZEBRA	2.6	90-120	160	155	> 1200	< 5	No	+245 to +350	230-345
Lithium-ion (Li-ion)	3.6	118-250	200-400	200-430	2000	< 5	No	-20 to +60	150
Lithium-ion polymer (LiPo)	3.7	130-225	200-250	260-450	> 1200	< 5	No	-20 to +60	150
Lithium-iron phosphate (LiFePO <sub>4</sub> )	3.2	120	220	2000-4500	> 2000	< 5	No	-45 to +70	350
Zinc-air (Zn-air)	1.65	460	1400	80-140	200	< 5	No	-10 to +55	90-120
Lithium-sulfur (Li-S)	2.5	350-650	350	-	300	8-15	No	-60 to +60	100-150
Lithium-air (Li-air)	2.9	1300-2000	1520-2000	-	100	< 5	No	-10 to +70	-

Figura 25 - Comparison of EV battery types

Fonte: Yong *et al.* (2015)

# Anexo 4 – Processo de aquisição de veículos na MP

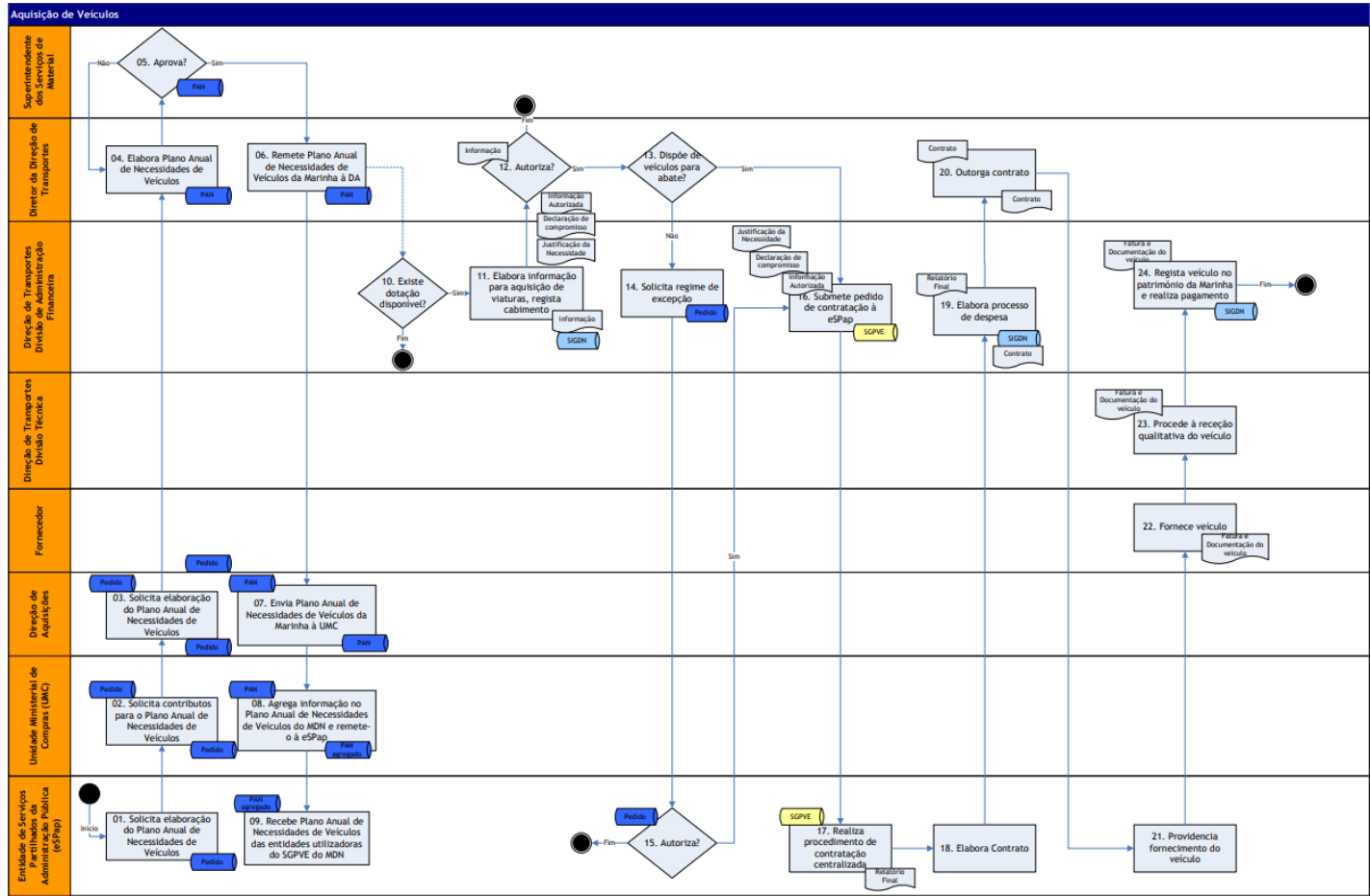


Figura 26 – Processo de aquisição de viaturas pela MP

## Anexo 5 – Autocarros da MP

Matrícula Militar	Modelo	Marca	Data entrada Serviço	Tipologia Militar	Tipologia Militar (Denominação)	Classe da Viatura	KMS
AP-25-52	O 305	MERCEDES	01/09/1984	G	Transp. Coletivo (>45 lugares)	Administrativas	465 841
AP-26-41	O 303	MERCEDES	01/01/1985	G	Transp. Coletivo (>45 lugares)	Administrativas	146 645
AP-36-02	O 309	MERCEDES	31/07/1985	F	Transp. Coletivo (19 a 22 lugares)	Administrativas	435 567
AP-26-44	O 303	MERCEDES	01/09/1985	G	Transp. Coletivo (>45 lugares)	Administrativas	240 527
AP-29-59	TRANSPORTER	VOLKSWAGEN	01/01/1992	E	Transp. Coletivo (8 a 12 lugares)	Administrativas	243 528
AP-31-86	COASTER	TOYOTA	21/12/1992	F	Transp. Coletivo (19 a 22 lugares)	Administrativas	158 162
AP-31-83	OPTIMO	TOYOTA	16/10/1995	F	Transp. Coletivo (19 a 22 lugares)	Administrativas	260 223
AP-31-61	HIACE	TOYOTA	02/01/1996	E	Transp. Coletivo (8 a 12 lugares)	Administrativas	227 450
AP-31-88	16370	MAN	19/12/1996	G	Transp. Coletivo (>45 lugares)	Administrativas	341 051
AP-31-89	16370	MAN	19/12/1996	G	Transp. Coletivo (>45 lugares)	Administrativas	345 100
AP-35-12	EURORIDER	IVECO	12/12/2000	G	Transp. Coletivo (>45 lugares)	Administrativas	306 182
AP-35-09	EURORIDER	IVECO	18/01/2001	G	Transp. Coletivo (>45 lugares)	Administrativas	399 053
AP-35-10	EURORIDER	IVECO	30/03/2001	G	Transp. Coletivo (>45 lugares)	Administrativas	303 339
AP-35-11	EURORIDER	IVECO	30/03/2001	G	Transp. Coletivo (>45 lugares)	Administrativas	381 259
AP-35-73	EURORIDER	IVECO	30/01/2002	G	Transp. Coletivo (>45 lugares)	Administrativas	312 345
AP-35-79	EURORIDER	IVECO	30/01/2002	G	Transp. Coletivo (>45 lugares)	Administrativas	331 731
AP-36-70	OPTIMO	TOYOTA	05/11/2003	F	Transp. Coletivo (19 a 22 lugares)	Administrativas	225 676
AP-36-72	INTERSTAR	NISSAN	30/07/2004	F	Transp. Coletivo (19 a 22 lugares)	Administrativas	213 275
AP-38-37	LT 46	VOLKSWAGEN	15/12/2005	F	Transp. Coletivo (19 a 22 lugares)	Administrativas	189 571
AP-38-39	LT 46	VOLKSWAGEN	15/12/2005	F	Transp. Coletivo (19 a 22 lugares)	Administrativas	96 681
AP-38-40	LT 46	VOLKSWAGEN	15/12/2005	F	Transp. Coletivo (19 a 22 lugares)	Administrativas	217 995
AP-38-55	14.280 HOCL	MAN	22/06/2006	F	Transp. Coletivo (19 a 22 lugares)	Administrativas	226 144
AP-39-52	PRIMASTAR	NISSAN	05/12/2006	E	Transp. Coletivo (8 a 12 lugares)	Administrativas	237 469
AP-39-70	CENTURY	SCANIA	06/07/2007	G	Transp. Coletivo (>45 lugares)	Administrativas	118 077
AP-40-41	OPTIMO	TOYOTA	27/09/2007	F	Transp. Coletivo (19 a 22 lugares)	Administrativas	105 135
AP-39-92	PRIMASTAR	NISSAN	17/12/2007	E	Transp. Coletivo (8 a 12 lugares)	Administrativas	256 062
AP-39-93	PRIMASTAR	NISSAN	17/12/2007	E	Transp. Coletivo (8 a 12 lugares)	Administrativas	238 279
AP-40-00	K 340 IB 4X2	SCANIA	19/02/2008	G	Transp. Coletivo (>45 lugares)	Administrativas	371 714
AP-40-03	INTERSTAR	NISSAN	20/02/2008	F	Transp. Coletivo (19 a 22 lugares)	Administrativas	115 758
AP-40-30	CENTURY	SCANIA	02/12/2008	G	Transp. Coletivo (>45 lugares)	Administrativas	120 766
AP-40-40	K 340 IB 4X2	SCANIA	19/12/2008	G	Transp. Coletivo (>45 lugares)	Administrativas	350 224
AP-40-25	OPTIMO	TOYOTA	05/06/2009	F	Transp. Coletivo (19 a 22 lugares)	Administrativas	97 660
AP-40-35	OPTIMO	TOYOTA	05/06/2009	F	Transp. Coletivo (19 a 22 lugares)	Administrativas	109 180
AP-40-36	EXPERT	PEUGEOT	27/01/2010	E	Transp. Coletivo (8 a 12 lugares)	Administrativas	213 063
AP-40-37	EXPERT	PEUGEOT	27/01/2010	E	Transp. Coletivo (8 a 12 lugares)	Administrativas	215 300
AP-40-38	EXPERT	PEUGEOT	27/01/2010	E	Transp. Coletivo (8 a 12 lugares)	Administrativas	169 664
AP-40-54	PRIMASTAR	NISSAN	08/04/2010	E	Transp. Coletivo (8 a 12 lugares)	Administrativas	167 719
AP-41-63	TRAVELLER	PEUGEOT	23/04/2019	E	Transp. Coletivo (8 a 12 lugares)	Administrativas	18 655
AP-41-64	TRAVELLER	PEUGEOT	23/04/2019	E	Transp. Coletivo (8 a 12 lugares)	Administrativas	25 626

Figura 27 – Identificação dos autocarros da MP