



**Mobilidade elétrica: O contributo dos veículos elétricos para a
descarbonização do setor dos transportes, em Portugal.**

Carlos Alexandre Baptista Lopes

**Dissertação de Mestrado em Gestão do Território – Área de
especialização em Ambiente e Recursos Naturais**

11 de fevereiro de 2022

Dissertação apresentada para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão do Território, área de especialização em Ambiente e Recursos Naturais, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Fernando Ribeiro Martins.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente aos meus pais, por me privilegiarem com esta oportunidade e à minha família, namorada e amigos que me apoiaram durante a minha vida e percurso académico. Também agradeço àqueles que não me apoiaram e que me contrariaram, pois com eles também aprendi a focar-me em ser melhor e esta dissertação é fruto dessa aprendizagem. Um especial agradecimento ao professor Fernando Ribeiro Martins, por me orientar nesta dissertação e pelos bons conselhos e auxílio, obrigado. Para todos aqueles que responderam ao questionário, obrigado pelo vosso contributo, ajudaram-me a produzir esta dissertação. Agradecimentos também para os impulsionadores da mobilidade elétrica no geral e especialmente para aqueles que responderam às minhas questões e providenciaram a informação que necessitei.

MOBILIDADE ELÉTRICA: O CONTRIBUTO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS PARA A DESCARBONIZAÇÃO DO SETOR DOS TRANSPORTES, EM PORTUGAL.

Carlos Alexandre Baptista Lopes

Resumo

As alterações climáticas são dos problemas mais graves da atualidade. É de extrema importância priorizar a sua resolução em prol da sobrevivência da raça humana e outras inúmeras formas de vida. A dependente utilização de combustíveis fósseis representa uma das principais causas das alterações climáticas e, por isso, é necessário encontrar uma alternativa.

Nesta dissertação explora-se a descarbonização de um dos setores mais dependentes de combustíveis fósseis, o setor dos transportes, mais especificamente veículos ligeiros, em Portugal. Por ser um dos principais contribuidores para as emissões de gases com efeito de estufa, que por sua vez potenciam as alterações climáticas, este setor necessita de uma reformulação no âmbito da sustentabilidade ambiental. Como opção à situação atual de veículos a combustão interna decidiu-se analisar o contributo dos veículos elétricos a bateria de modo a averiguar se são ou poderão ser uma opção viável para uma transição sustentável, visando princípios de eficiência energética e de economia circular. Com isto em mente, avaliaram-se fatores associados à praticidade e economia dos veículos elétricos a bateria averiguando a sua viabilidade de substituição dos veículos convencionais para os condutores portugueses. Depois, investigou-se o impacto ambiental dos vários processos associados à produção e utilização dos veículos, comparando-se com os veículos a combustão interna, e as melhorias expectáveis no setor que propõem caminhos para um futuro mais sustentável.

Com os resultados obtidos estimou-se o contributo dos veículos elétricos a bateria para a descarbonização do setor dos transportes, especificamente para o território português, averiguando se são uma boa opção de investimento para um futuro sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade; veículos elétricos; energias renováveis; futuro; Portugal.

ELECTRIC MOBILITY: THE CONTRIBUTION OF ELECTRIC VEHICLES TO THE TRANSPORT SECTOR'S DESCARBONISATION, IN PORTUGAL.

Carlos Alexandre Baptista Lopes

Abstract

Climate change is one of the most serious problems nowadays. It's extremely important to prioritize its resolution for the survival of the human race and other countless forms of life. The dependent use of fossil fuels represents one of the main causes of climate change, it is necessary to find an alternative.

This dissertation explores the decarbonisation of one of the most dependent sectors on fossil fuels, the transport sector, more specifically light vehicles, in Portugal. As one of the main contributors to greenhouse gas emissions, which in turn potentiate climate change, this sector needs a reformulation within the scope of environmental sustainability. As an option to the current situation of internal combustion vehicles, we decided to analyze the contribution of battery electric vehicles in order to find out if they are or could be a viable option for a sustainable transition, aiming at principles of energy efficiency and circular economy. With this in mind, factors associated with the practicality and economy of battery electric vehicles were evaluated, verifying their feasibility of replacing conventional vehicles. Then, we investigated the environmental impact of the various processes associated with the production and use of vehicles, comparing them with internal combustion engine vehicles, and the expected improvements in the sector that propose paths for a more sustainable future.

With the results, the contribution of battery electric vehicles to the transport sector's decarbonisation was estimated, specifically for the Portuguese territory, to check if they are a good investment option for a sustainable future.

KEYWORDS: Sustainability; electric vehicles; renewable energies; future; Portugal.

ÍNDICE

1 – Introdução	1
2 – Metodologia	2
3 – Estrutura	4
4 – Problemática dos veículos a combustão.....	5
5 – Enquadramento histórico	8
5.1. – O primeiro veículo elétrico a bateria	10
5.2. – Baterias de iões de lítio	12
6 – Tipos de veículos elétricos ligeiros	13
6.1. – Veículo elétrico a bateria.....	13
6.2. – Veículo a célula de combustível.....	13
6.3. – Veículo elétrico híbrido.....	14
6.4. – Justificação de optar por BEV	15
7 – Desafios à transição.....	20
7.1. – Autonomia e abastecimento	20
7.2. – Economia.....	25
7.2.1. – Preço de compra do veículo.....	25
7.2.2. – <i>Wallbox</i> /Carregador doméstico	27
7.2.3. – Incentivos fiscais	27
7.2.4. – Gastos em combustível	28
7.2.5. – Manutenção.....	32
8 – Inquérito	33
8.1. – Perfil do participante	34
8.2. – Utilização do veículo	35
8.3. – Perceção sobre BEV	38
8.4. – Ponderações sobre os resultados	48

9 – Impacto ambiental	49
9.1. – Ciclo do combustível	50
9.1.1. – Comparação das emissões	51
9.2. – Introdução às LIB	54
9.3. – O impacto ambiental das LIB	58
9.3.1. – Extração e refinação dos materiais	59
9.2.3. – Impacto da produção das células e montagem das LIB	67
9.2.4. – Outros elementos	68
9.2.5. – Em síntese	69
9.3. – Impacto ambiental BEV vs combustão interna	70
10 – Redução do impacto ambiental	75
10.1. – Reciclagem	75
10.3. – Segunda vida	77
10.4. – Baterias LFP	77
10.5. – Baterias sem lítio	79
10.6. – <i>Car-sharing</i>	79
10.7. – Extração de recursos	80
10.7.1. – Lítio	80
10.7.2. – Outros metais	81
10.8. – Veículos elétricos solares	82
11 – Conclusão	83
Bibliografia	89
Legislação	103
Lista de tabelas	104
Lista de figuras	105

LISTA DE ABREVIATURAS

APA	Agência Portuguesa do Ambiente
BEV	Battery Electric Vehicle (veículo elétrico a bateria)
BMS	Battery Management System (sistema de gestão da bateria)
CO	Monóxido de carbono
CO₂	Dióxido de carbono
CO_{2eq}	Dióxido de carbono equivalente
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle (veículo elétrico a célula de combustível)
GEE	Gases com Efeito de Estufa
HEV	Hybrid Electric Vehicle (veículo elétrico híbrido)
ISV	Imposto Sobre Veículo
IUC	Imposto Único de Circulação
kWh	Quilowatt-hora
LFP	Lítio e fosfato de ferro
LIB	Lithium-ion Battery (bateria de iões de lítio)
LMO	Lítio e óxido de manganês
NCA	Níquel, cobalto e alumínio
NEDC	New European Driving Cycle (teste a veículos ligeiros antigo)
NMC	Níquel, manganês e cobalto
NOX	Óxidos de nitrogénio
SO₂	Dióxido de enxofre
TTW	Tank-to-Wheel (tanque para roda)
UE	União Europeia
WLTP	Worldwide harmonized Light-duty vehicle Test Procedure (teste a veículos ligeiros atual)
WTT	Well-to-Tank (Fonte para tanque)

1 – Introdução

O paradigma do setor dos transportes, atualmente, é baseado em combustíveis fósseis, aos quais estão inerentes elevadas emissões de gases com efeito de estufa (GEE) que causam danos ambientais graves. A dependente utilização desse tipo de combustíveis, a nível mundial, é uma das principais razões das alterações climáticas.

Desde 2018 que em mim despertou o interesse por veículos elétricos a bateria (BEV). A pesquisa sobre o tema era feita quase como um passatempo diário; sempre gostei do facto de um BEV não emitir ruídos intensos nem gases nocivos durante a sua utilização.

A minha lógica de pensamento baseava-se nos BEV como um futuro próximo e solução sustentável para o setor dos transportes, mas ao partilhar as minhas ideias com outras pessoas e ao visualizar publicações e comentários *online* relacionados com BEV, encontrei uma elevada resistência à sua adoção (Anexo A). As motivações por detrás dessa resistência eram inúmeras, focadas especialmente nas diferenças de utilização e no impacto ambiental dos BEV.

Muitos defendem que um BEV poluí tanto ou mais que um veículo a combustão interna equivalente, um fator que, a meu ver, não fazia sentido. Mas ainda não tinha aprofundado o tema o suficiente para poder averiguar e explicar o potencial de descarbonização de um BEV.

Com isto, a procura de informação para verificar se um BEV realmente seria a melhor opção baseou-se na resposta às seguintes questões:

- Quais são os principais constrangimentos à adoção de veículos elétricos, em Portugal?

O porquê de se averiguar os constrangimentos à adoção parte das críticas à praticidade de um BEV. Independentemente de um veículo ter menor impacto ambiental, apenas pode substituir o tipo de veículo dominante com eficácia se tiver características semelhantes ou melhores. Por exemplo, uma bicicleta, apesar de ter muito menor impacto ambiental do que um veículo ligeiro de passageiros a combustão, não é um meio prático para cobrir as necessidades da maioria dos utilizadores de veículos ligeiros. A mesma lógica se aplica a um BEV, se ele não conseguir satisfazer as necessidades dos condutores de veículos convencionais (combustão interna), o seu possível contributo para a descarbonização do setor de transportes será reduzido.

- Será que a tecnologia já atingiu o ponto em que se tornou viável (considerando os constrangimentos à adoção dos veículos elétricos) a transição de veículos a combustão para BEV?

Esta pergunta será respondida à medida que se averiguarem as evoluções tecnológicas recentes no setor dos BEV, para cada aspeto em análise. A pergunta tem como objetivo encontrar respostas para alguns obstáculos inerentes à implementação de um parque automóvel BEV e atualizar informação referente ao estado da arte do setor.

- Qual a contribuição do setor dos transportes para a pegada de carbono de Portugal?

É importante averiguar a contribuição do setor dos transportes para as emissões de GEE totais de Portugal. Isto de modo a evidenciar a relevância da descarbonização do setor.

- Que fatores influenciam o impacto ambiental de um veículo elétrico?

Um BEV não emite GEE diretamente durante a sua utilização (ao contrário de um veículo a combustão interna), mas é necessário compreender de que forma é que este tem impacto no ambiente. Esta informação é crucial para calcular e relacionar o impacto ambiental de ambos os tipos de veículo, e também para perceber como se pode reduzir o impacto ambiental de um BEV.

- Quão reduzido é o impacto ambiental de um veículo elétrico ligeiro em relação a um veículo a combustão interna equivalente?

A averiguação do impacto ambiental de um BEV será sempre em relação ao tipo de veículo predominante atualmente (combustão interna). Pondo em comparação o impacto ambiental de ambos os tipos de veículo, pode-se estimar uma possível redução de GEE pela transição para um parque automóvel de ligeiros totalmente BEV.

2 – Metodologia

Para responder às questões anteriores, a dissertação foi orientada em dois âmbitos, focando-se primeiro nos desafios à transição dos BEV e depois no impacto ambiental.

Os desafios à transição foram analisados objetivamente, através de recolha de informação base sobre as principais diferenças de utilização entre ambos os tipos de veículo (BEV e combustão interna). Esta informação foi considerada insuficiente, devido ao elevado

cariz subjetivo da opção entre ambos os tipos de veículo. Portanto, sendo que o estudo remete a uma área específica (Portugal), é crucial obter informação proveniente dos residentes nacionais, de modo a especificar a análise no âmbito territorial.

Deste modo, produziu-se um inquérito, onde os participantes apresentaram a sua opinião em relação aos BEV¹.

Relacionando a informação obtida através destes métodos, definiram-se os principais desafios para a transição para BEV, em Portugal. Esta informação é importante pois perspetiva a viabilidade da expansão dos BEV (se estão preparados para substituir os veículos a combustão interna).

O impacto ambiental de um BEV, por sua vez, foi averiguado através da criação de uma espécie de LCA (life cycle assessment), onde os elementos que diferem entre ambos os tipos de veículo foram analisados, com base em estudos semelhantes da federação europeia para o transporte e ambiente (T&E) e do instituto sueco da pesquisa ambiental (IVL)

No caso dos veículos a combustão, averiguou-se o impacto da produção do combustível e utilização no veículo e no caso dos BEV averiguou-se o impacto da produção das baterias de lítio e da energia elétrica que estes consomem. O impacto ambiental dos veículos foi calculado em emissões de dióxido de carbono equivalente por quilómetro percorrido, para tornar possível a sua comparação².

A comparação destes fatores definiu uma estimativa do potencial de descarbonização consequente da substituição de um parque automóvel convencional (combustão interna) por um parque automóvel de BEV, em Portugal.

De modo a evidenciar o potencial de descarbonização, avaliaram-se evoluções no setor dos BEV, expectáveis para um futuro próximo. Com isto esperou-se fortalecer a ideia de que os BEV têm muitas variáveis a melhorar no aspeto ambiental, que futuramente garantirão ao veículo uma menor pegada ambiental.

¹ A metodologia específica do questionário encontra-se no capítulo 8.

² A metodologia específica do processo encontra-se no capítulo 9.

3 – Estrutura

A estrutura desta dissertação focou-se em seguir uma lógica de pensamento que engloba desde as características mais básicas de um BEV, a aspetos mais complexos relacionados com o seu impacto ambiental.

Deste modo a estrutura da dissertação dividiu-se nas seguintes partes:

Exposição do problema

Iniciou-se a análise com a exposição da situação atual de veículos a combustão. Com isto, justificou-se a importância de encontrar soluções para o elevado impacto ambiental do setor dos transportes.

Considerou-se o tema dos veículos rodoviários ligeiros como elemento de estudo e evidenciou-se a sua importância para as emissões do setor de transportes, em Portugal.

BEV

Aqui averiguaram-se as características base de um veículo elétrico a bateria, quando foi criado, o que é, como funciona. Também se explicou o porquê da escolha dos veículos elétricos a bateria e não outro tipo de veículos elétricos, em específico para os veículos rodoviários ligeiros, porque em outros setores (por exemplo veículos pesados de mercadorias) teriam de ser tidas em conta outras variáveis específicas.

Desafios à adoção dos BEV

Nesta parte avaliaram-se as principais diferenças entre os dois tipos de veículos (combustão interna e BEV). Para averiguar possíveis obstáculos específicos do caso português foi produzido um inquérito por questionário, no qual os participantes deram a sua opinião sobre os BEV. Com o conjunto destes dados, foi possível fazer um exercício de extrapolação de constrangimentos à adoção de BEV, em Portugal.

É extremamente importante examinar os principais constrangimentos para que seja possível encontrar soluções e verificar a viabilidade do veículo.

Impacto ambiental de um BEV

Após se definir se um BEV é realmente uma opção realista para suceder aos veículos a combustão interna, será calculado o seu impacto ambiental e feita a comparação com a situação atual.

Com esse objetivo em vista, são averiguados, numa primeira fase, os principais processos que influenciam o impacto ambiental de ambos os tipos de veículo. Seguidamente, esses processos são interligados no cálculo do impacto ambiental do seu ciclo de vida. Deste modo conseguem-se relacionar ambos os tipos de veículo e estimar vários cenários de impacto ambiental, considerando evoluções tecnológicas, fontes de energia utilizadas nos vários processos e até a idade dos veículos.

Redução do impacto ambiental

Aqui, exploram-se formas de reduzir o impacto ambiental de um BEV, algumas possíveis com a tecnologia presente, outras dependentes da evolução tecnológica futura (ou pelo menos de uma expansão do setor). É deveras relevante averiguar se os BEV têm a possibilidade de reduzir o seu impacto ambiental, ou se já se encontram no seu potencial máximo. Este argumento poderá influenciar o contributo dos BEV para a descarbonização do setor de transportes.

4 – Problemática dos veículos a combustão

O setor dos transportes encontra-se com um modelo não sustentável por depender de combustíveis fósseis, combustíveis estes de reservas finitas e que libertam gases com efeito de estufa (ex: NOX, CO, CO₂, SO₂, entre outros) para a atmosfera aquando a sua combustão, potenciando problemas ambientais e de saúde pública (Lopes, 2013).

“Direct emissions of ICE cars have an effect on public health as well as on crops, buildings and the natural environment.” – (Bueger et al., 2014, p.2).

O setor dos transportes representa cerca de 16,2% das emissões totais de GEE a nível global (apenas emissões relacionadas com o uso dos combustíveis) (Ritchie & Roser, 2020). O transporte rodoviário é o principal contribuidor, contabilizando cerca de 11,9% do total das emissões globais. “This means that, if we could electrify the whole road transport sector, and transition to a fully decarbonized electricity mix, we could feasibly reduce global emissions by 11.9%” (Ritchie & Roser, 2020, s.p.). É este o potencial de descarbonização dos veículos elétricos.

Em Portugal, o setor dos transportes é dos que mais contribui para a pegada carbónica do país, responsável por cerca de 25% das emissões de GEE, em 2019 (figura 1).

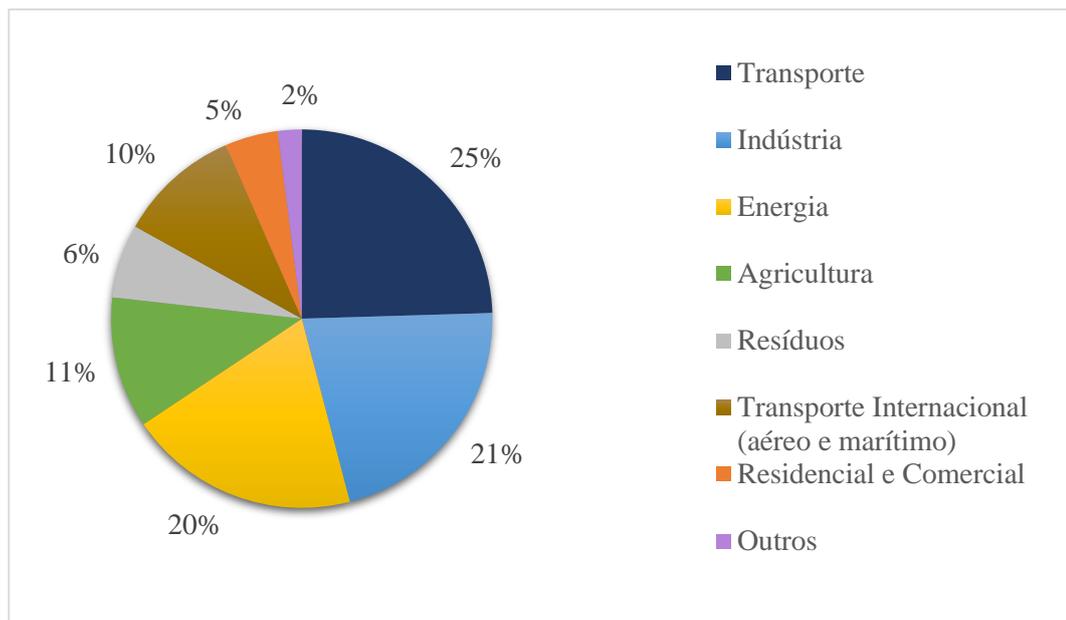


Figura 1. Emissões de GEE (CO₂/eq), por setor, em Portugal, 2019. Adaptado de Agência Europeia do Ambiente, 2021a, website.

Os veículos ligeiros representam cerca de 83% do total de veículos rodoviários em Portugal (Instituto Nacional de Estatística [INE], 2020), sendo dos principais contribuidores para a pegada de carbono do setor dos transportes.

Repercussões de uma sociedade dependente de combustíveis fósseis refletem-se no planeta. Desde a revolução industrial, no final do século XVIII, que a concentração de GEE na atmosfera tem vindo a aumentar, com isto, a temperatura média global também. Estima-se que o planeta já aqueceu 1°C desde o início da revolução industrial (Agência Portuguesa do Ambiente [APA], s.d.).

Relacionados com este fator estão consequências como o aumento do nível médio das águas do mar, acidificação dos oceanos, alterações de padrões de precipitação, maior probabilidade e intensidade de episódios meteorológicos extremos (secas, cheias, tempestades), aumento do degelo dos glaciares e calotas polares, entre outros (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas [IPCC], 2021).

Foi no âmbito do controlo das mudanças climáticas por influência antrópica que foi criado o acordo de Paris. “The Paris Agreement is the first-ever universal, legally binding global climate change agreement, adopted at the Paris climate conference (COP21) in December 2015.” (Comissão europeia, s.d., s.p.)

Sucintamente, o acordo de Paris foi estabelecido de modo alcançar a descarbonização das economias mundiais, com o objetivo de limitar o aumento da temperatura média mundial

a menos de 2° celsius em relação aos níveis pré-industriais. Esforços adicionais para limitar o aumento a 1,5° celsius também estão definidos, visando a redução dos impactos das alterações climáticas (Silva & Fernandes, 2020).

Estima-se que, de modo a limitar o aquecimento global a 1,5°C, são necessárias reduções de cerca de 80% nas emissões relacionadas com a combustão e produção de combustíveis para o setor dos transportes, quando considerando os valores atuais, e que a maior parte desta mudança tem de ser no setor dos veículos ligeiros de passageiros. Não existem métodos realistas de atingir esse nível de redução de emissões quando considerando um setor dos transportes dependente de combustíveis fósseis (Bieker, 2021).

BEVs store electricity in and draw power from batteries to run an electric motor that drives the vehicle. So long as the electricity source is clean, the BEV system will have zero emissions of air pollutants and greenhouse gases over the entire energy lifecycle. (Jacobson & Delucchi, 2010, p. 1158)

Os BEV ou veículos 100% elétricos, oferecem uma oportunidade ambiental realista por se moverem apenas com energia elétrica, podendo esta ser gerada somente por energias renováveis. Ainda assim, é fulcral compreender que estes veículos também apresentam impactos ambientais, derivados, principalmente, da produção das baterias de lítio e das fontes de produção elétrica que os abastecem.

Portugal pertence à União Europeia e deste modo compromete-se às iniciativas tomadas pela Comissão. A Lei Europeia do Clima estipula uma redução das emissões de GEE em 55% até 2030 (em comparação com os níveis de 1990), a ambição de atingir a neutralidade carbónica até 2050 e um foco em eficiência energética. A nível nacional, Portugal também se dedica a atingir estas metas, a Agenda 3 da Estratégia Portugal 2030 refere a redução das emissões GEE globais em 45% a 55% e em específico em 40% no setor dos transportes, face a 2005. Os BEV surgem como uma potencial opção que vai de encontro a estas políticas, o que reforça o seu papel a nível ambiental.

Qual será o tipo de veículo elétrico a bateria em que a análise se vai focar?

O foco desta análise será nos veículos rodoviários ligeiros, isto porque se considera que é dos setores que mais contribui para as emissões do setor de transportes e que os

veículos elétricos a bateria ligeiros são o mercado mais desenvolvido e com mais potencial para se expandir no país com a tecnologia existente. Esta afirmação confirma-se quando se avalia o crescimento do parque de BEV em Portugal; o setor que mais evoluiu na década de 2010-2020 foi o dos veículos ligeiros de passageiros (figura 2).

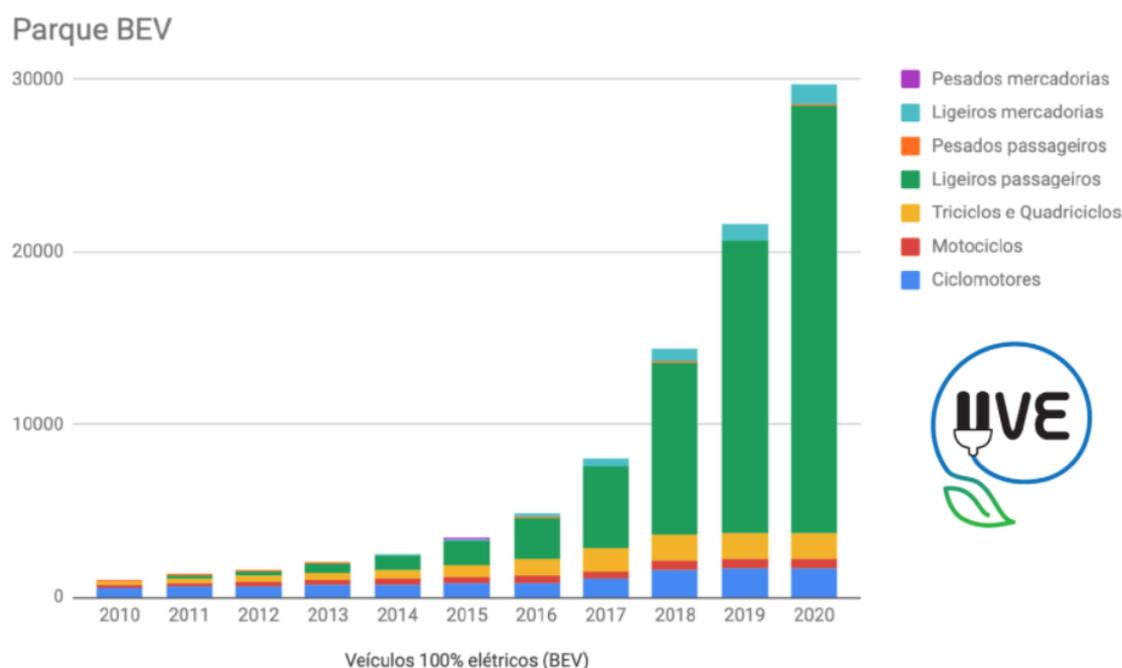


Figura 2. Evolução do parque BEV em Portugal 2010-2020. Extraído de Associação dos Utilizadores de Veículos Elétricos [UVE], 2021a, website.

Analisando o ano de 2013, os veículos ligeiros de passageiros representavam apenas 25,3% do total de veículos elétricos a bateria a circular em Portugal. Nos anos seguintes, o setor dos veículos ligeiros de passageiros cresceu substancialmente, isto devido à maior disponibilidade de modelos no mercado, melhorias tecnológicas, incentivos governamentais e descida dos preços das baterias de lítio. Por comparação, em 2020, os veículos ligeiros de passageiros representavam cerca de 83.2% do total de BEV, em Portugal (figura 2).

5 – Enquadramento histórico

Verificou-se, desde o início do século XXI, um acréscimo de relevância no tema dos veículos elétricos a bateria devido a diversos fatores, sobretudo, questões ambientais, mas as bases do funcionamento deste tipo de veículo remetem para cerca de dois séculos antes,

quando os primeiros protótipos de veículos elétricos surgiram. É importante destacar as invenções/descobertas que tornaram possível a criação do primeiro carro elétrico prático: O motor elétrico e as primeiras células secundárias (baterias recarregáveis).

Motor Elétrico

Os primeiros registros de motores elétricos com poder suficiente para completar uma tarefa surgem no ano de 1834. Diversas fontes apontam para diferentes inventores pois, nesse período temporal, vários inventores/engenheiros se dedicaram ao desenvolvimento de motores elétricos. O Alemão (antiga Prússia), Moritz Hermann Jacobi (1801-1874), criou o primeiro motor elétrico em 1834, na cidade de *Königsberg* (atualmente Kaliningrado). Com cerca de 15 *watts* de potência, o motor conseguia propulsionar uma massa de entre 4,5kg a 5,4kg a uma velocidade de aproximadamente 1km/h (Karlsruhe Institute of Technology [KIT], s.d.).

Baterias recarregáveis

O problema que ainda se opunha à proliferação deste meio de transporte era o armazenamento da energia no veículo. A primeira bateria foi criada em 1800 pelo Italiano Alessandro Volta, com a criação da pilha voltaica (american physics society [APS], 2006).

A pilha voltaica e todas as outras que surgiram nos 60 anos seguintes eram apenas células primárias (células que não podem ser recarregadas), que, após esgotarem os seus reagentes através de reações químicas, teriam que repor os mesmos ou ser descartadas. Não sendo recarregáveis, a sua aplicação em meios de transporte era limitada.

Isto até que, em 1860, o francês Gaston Planté (1834-1889) surgiu com uma solução a este problema, com a criação da bateria de ácido-chumbo, dando origem às primeiras células secundárias (células que podem ser recarregadas através da inversão das reações químicas) (Kurzweil, 2010).

Em 1881, o francês Camille Alphonse Faure (1840-1898) aplicou melhorias à bateria de ácido-chumbo, aumentando a sua densidade energética, o que potenciou o seu fabrico em massa e a sua utilização em transportes. (Guarnieri, 2012)

5.1. – O primeiro veículo elétrico a bateria

Os primeiros protótipos de veículos elétricos a bateria surgiram entre 1828-1840. A vários inventores foi atribuído o título de criador do veículo elétrico a bateria, sendo que é incerto quem realmente foi o primeiro:

O escocês Robert Anderson, é creditado por ter construído uma carruagem elétrica, contudo a data da sua invenção é incerta, remetendo para algures entre 1832 e 1839. O Húngaro Anyos Jedlik (1800 – 1895), também criou um protótipo de um veículo elétrico a bateria em 1828, no mesmo ano que construiu o seu motor elétrico. Contudo, tal como sucedido com o motor, o seu protótipo foi publicado anos mais tarde, perdendo a relevância no contexto evolutivo. Em 1835, Thomas Davenport (1802 -1851), um ano depois de ter criado o seu motor elétrico, aplicou-o num protótipo de um veículo elétrico, juntamente com uma bateria de Volta (Morimoto, 2015).

O problema destes, e dos protótipos que se seguiram, era utilizarem células primárias, o que fazia dos veículos elétricos apenas uma ideia para desenvolvimento futuro e não um meio de mobilidade prático ou económico. Como exemplo, nessa época, o consumo de zinco de uma bateria primária era 40 vezes mais caro do que o consumo de carvão para uma locomotiva a vapor (Guarnieri, 2012). Isto até 1881, quando o primeiro protótipo de um BEV prático transitou nas ruas de Paris, conduzido pelo seu inventor, o francês Gustave Trouvé. Este aplicou as baterias de ácido-chumbo (Criadas por Planté e melhoradas por Faure) e uma versão otimizada de um motor elétrico (patenteada pelo mesmo em 1880), num triciclo:

A motor weighing 5 kg, powered by 6 cells of Planté producing an effective work of 7 kg m per second, was placed, on the 8th April [1881], on a tricycle whose weight, including the rider and the batteries rose to 160 kg and recorded a speed of 12 km/h (Kurzweil, 2010, p.4426).

Pode-se dizer então, que o primeiro veículo elétrico prático nasceu em França, mas rapidamente os veículos elétricos começaram a despertar o interesse de vários engenheiros noutras grandes potências mundiais (Inglaterra, EUA, Alemanha), que surgiram com as suas próprias versões.

No final do século XIX e início do século XX, os veículos elétricos experienciaram o seu auge de popularidade. Por exemplo, em 1899, nos EUA, dos cerca de 4192 veículos a

circular nas estradas do país, 38% eram elétricos, 40% eram veículos a vapor e 22% a gasolina (Guarnieri, 2012).

O que aconteceu aos BEV?

Em 1885, na Alemanha, Carl Benz (1844-1929) desenvolveu o primeiro veículo rodoviário a gasolina, pouco depois do primeiro BEV prático ter surgido (Daimler, s.d.).

No início do século XX, um conjunto de fatores propiciou a dominância do mercado por parte dos veículos a gasolina. Em 1901, a descoberta de novas reservas de petróleo no Texas tornou a gasolina um recurso mais disponível e acessível às massas.

Em 1908, o americano Henry Ford (1863-1947) introduziu no mercado o Ford Model T, o primeiro veículo acessível produzido em massa, numa linha de produção. Por comparação, em 1912, nos EUA, o preço de um veículo elétrico rondava os 1750\$USD - 3000\$USD, enquanto um Ford Model T, 650\$USD. Apesar da diferença de preços, um veículo elétrico ainda apresentava vários benefícios em relação a um a gasolina. Utilizar a manivela para ligar o motor era uma tarefa física e muitas vezes perigosa, tanto que, até o próprio Henry Ford, impulsionador dos veículos a combustão, comprou um veículo elétrico para a sua mulher (Guarnieri, 2012).

Em 1912, o americano Charles Kettering, industrializa o motor de arranque (Idem). Isto retira a necessidade de utilizar a manivela para iniciar o motor, tornando os veículos a combustão mais práticos e retirando um dos maiores obstáculos à sua proliferação.

Durante a primeira guerra mundial (1914-1918), os fabricantes de automóveis dedicaram os seus esforços ao suporte das tropas, isto através da construção de camiões, tanques de guerra, jipes, aviões e vários outros tipos de veículos que utilizavam combustíveis fósseis. Este fator potenciou a evolução do setor dos veículos a combustão e, na altura em que a guerra finalmente acabou, era certo qual era o tipo de veículo que iria predominar.

Os veículos elétricos caíram no esquecimento, sendo utilizados apenas para algumas aplicações específicas. Até que, em 1973, ocorre a primeira crise do petróleo, quando os membros Árabes da OPEC (Organização dos Países Exportadores de Petróleo) decidem aumentar os preços do petróleo e até mesmo cancelar as suas exportações para certos países (EUA, Japão, Reino Unido, etc). Isto de modo a retaliar contra o apoio desses mesmos países a Israel durante a guerra de Yom Kippur (1973) (Ketel, 2020).

Com isto, o interesse em veículos que utilizassem combustíveis alternativos aumentou, e o veículo elétrico voltou a ser um objeto de estudo. Vários cientistas e engenheiros dedicaram-se ao desenvolvimento de veículos elétricos, mas as baterias ainda eram uma tecnologia subdesenvolvida em relação os veículos a combustão, que continuaram a evoluir nos anos anteriores, e mal o preço do petróleo voltou a estabilizar, o interesse perdeu-se novamente.

5.2. – Baterias de íões de lítio

Era necessário encontrar uma alternativa que permitisse armazenar uma maior quantidade de energia, carregamentos mais rápidos e maior durabilidade.

Um conjunto de descobertas dos cientistas Michael Stanley Whittingham (em 1976), John B. Goodenough (em 1980) e Akira Yoshino (em 1985), culminou na criação das bases das baterias de íões de lítio. Devido à criação e desenvolvimento das baterias de íões de lítio, os três cientistas foram premiados com o prémio Nobel da química em 2019 (Organização do Prémio Nobel, 2019).

Com as bases do funcionamento das baterias de íões de lítio definidas, inúmeros cientistas e companhias desenvolveram as suas versões. A primeira bateria de íões de lítio a ser comercializada foi pouco depois, em 1991, pela empresa Sony.

As baterias de íões de lítio (também referidas, ao longo da dissertação, apenas como baterias de lítio ou LIB) revolucionaram o setor das baterias recarregáveis. Isto porque, em relação às alternativas (por exemplo a bateria de ácido-chumbo e a bateria de níquel-hidreto metálico “NiMH”), as LIB contam com maior densidade energética, ou seja, conseguem armazenar uma maior quantidade de energia, considerando o mesmo peso e dimensão. Também, garantem um maior número de ciclos de vida; isto significa que conseguem ser recarregadas e descarregadas (dos 0% aos 100%), mais vezes que as alternativas, antes de serem substituídas (Iclodean et al., 2017). Estes fatores permitiram o desenvolvimento de várias tecnologias (telemóveis, computadores portáteis, drones, etc.) sensíveis a fatores como peso e dimensão, que não seriam possíveis, ou, pelo menos, não seriam tão práticas e/ou comercialmente viáveis, com os outros tipos de bateria existentes.

No setor dos veículos elétricos a bateria, o processo demorou um pouco mais. Apenas em 2008, a empresa Tesla inc. produziu o primeiro **veículo elétrico a bateria de íões de**

lítio, ao introduzir no mercado o seu modelo “Roadster”. Em 2009, a empresa Mitsubishi introduz no mercado o primeiro BEV com bateria de lítio produzido em massa, o Mitsubishi Miev.

As bases do funcionamento dos BEV podem ter sido criadas há cerca de dois séculos, mas as baterias de íões de lítio foram introduzidas em veículos ligeiros há pouco mais que uma década. Presentemente, estas dominam o setor dos veículos elétricos a bateria e propõem um futuro mais sustentável e realista para o setor dos transportes.

6 – Tipos de veículos elétricos ligeiros

Um veículo é considerado elétrico quando este utiliza meios de propulsão que se alimentam de eletricidade, ou seja, tem pelo menos um motor elétrico que propulsiona o veículo. Existem diferentes tipos de veículos elétricos com características distintas, o que influencia o seu impacto ambiental, estes dividem-se em 3 categorias.

6.1. – Veículo elétrico a bateria

Um veículo elétrico a bateria (BEV, do inglês “Battery Electric Vehicle”) é o típico veículo considerado 100% elétrico. Conta apenas com motorização elétrica e alimenta-se de energia elétrica armazenada na sua bateria. A sua composição é relativamente simples contando com a bateria, o motor elétrico e o sistema eletrónico (ou controlador), que, basicamente, controla a quantidade de energia que a bateria transmite para o motor e outros componentes (Delucchi et al., 2014).

6.2. – Veículo a célula de combustível

Veículos elétricos a célula de combustível (FCEV, do inglês “Fuel Cell Electric Vehicle”), mais conhecidos por veículos a hidrogénio, são veículos com motorização elétrica cuja energia é armazenada em forma de hidrogénio em tanques de alta pressão, com suporte de baterias. O hidrogénio armazenado no veículo reage com oxigénio na célula de combustível; a energia elétrica proveniente desta reação é utilizada para propulsionar o veículo. O processo de abastecimento deste tipo de veículos é semelhante ao processo de um

veículo a combustão interna (colocar a mangueira e encher o depósito), sendo esta uma das principais vantagens dos FCEV (Delucchi et al., 2014).

A nível ambiental, os FCEV não emitem GEE diretamente durante a sua utilização, sendo produto final das reações ocorridas na célula de combustível apenas água, expelida no estado gasoso ou líquido.

6.3. – Veículo elétrico híbrido

Veículos elétricos híbridos (HEV, do inglês “Hybrid Electric Vehicle”) são os únicos veículos elétricos que contam com diferentes tipos de motorização. Um veículo elétrico híbrido é a resposta do mercado automóvel às necessidades dos condutores que precisam de mais autonomia, mas que pretendem ter menores emissões e/ou maiores poupanças ambas relacionadas com o menor consumo de combustíveis fósseis em relação a veículos a combustão “puros”. Os HEV podem ser divididos em duas subcategorias, dependendo do tipo de sistema que utilizam:

Veículos elétricos híbridos “convencionais”

Um veículo elétrico híbrido convencional é um veículo que conta com um sistema híbrido em série, ou seja, tem um motor elétrico e um motor a combustão que funcionam mutuamente. O motor elétrico é utilizado como suporte ao motor a combustão, funcionando os dois em sintonia no veículo. A energia elétrica que alimenta o motor elétrico é gerada através do motor a combustão (com um gerador) que alimentará a bateria e o motor elétrico (Delucchi et al., 2014).

Veículos elétricos híbridos Plug-in

Um veículo elétrico híbrido Plug-in é um veículo que, normalmente, conta com um sistema híbrido em paralelo (existem exceções, apesar de raras, ex: GM Volt), o que significa que tanto o motor elétrico como o motor a combustão podem ser utilizados para propulsionar o veículo, e ambos funcionam individualmente. As vantagens de um híbrido Plug-in prendem-se, principalmente, no fator de poder carregar o veículo com uma fonte exterior, podendo funcionar como um veículo 100% elétrico (BEV) desde que a distância percorrida não exceda a autonomia proporcionada pela bateria (Delucchi et al., 2014).

6.4. – Justificação de optar por BEV

O veículo elétrico híbrido não foi considerado para este trabalho, pois este, ao utilizar os dois tipos de motorização, conta com os impactos ambientais inerentes a cada tipo de motorização num só veículo, o que o torna fortemente influenciado pelo tipo de utilização que lhe é dada. A utilização de combustíveis fósseis e a necessidade de ter baterias, que, apesar de serem menores do que as de um BEV, implicam impactos ambientais relacionados com a sua produção, tornam este tipo de veículo insustentável. É de louvar, porém, que a inserção dos HEV no mercado permitiu que vários condutores experienciassem um modo de condução 100% elétrico, podendo este ser um fator que influenciou o crescimento do interesse nos veículos elétricos para o público em geral.

Como refere Bieker “Only battery electric and hydrogen fuel cell electric vehicles have the potential to achieve the magnitude of life-cycle GHG emissions reductions needed to meet Paris Agreement goals.” (2021, p.1). A questão prende-se entre os dois tipos de veículos que não emitem GEE para a atmosfera durante a sua utilização (diretamente), o BEV e o FCEV. A decisão entre ambos os tipos de veículos deve surgir no âmbito da sustentabilidade ambiental, mas também deve considerar fatores económicos (que poderão ter impacto na velocidade e viabilidade da transição do parque automóvel).

Avaliaram-se 3 fatores considerados cruciais para a decisão entre ambos os tipos de veículos, a eficiência energética, a disponibilidade dos recursos abióticos e a infraestruturação necessária.

Eficiência energética

A transição de veículos a combustão interna para outro tipo de veículo deve ser feita considerando a sua eficiência energética. Para avaliar este fator não se deve avaliar apenas o aproveitamento energético do veículo, mas sim todo o processo, desde a produção do combustível, à sua utilização para propulsionar o veículo, ou seja, o ciclo do combustível. Como refere Offer et al.:

(...) both electricity and hydrogen can be produced from any primary energy source, including biomass, wind and solar energy, nuclear energy and decarbonised fossil fuels and therefore offer the opportunity to break the link between oil and transport, opening up options to improve energy security (2009, p.24).

A versatilidade de ambos os combustíveis por si só já é uma mais-valia, permitindo que mais países consigam assegurar a sua produção, diminuindo a probabilidade de existirem constrangimentos. Do ponto de vista ambiental, apenas os processos de produção que utilizam fontes de energias renováveis é que são interessantes para a análise, visto serem os métodos com menor impacto ambiental.

O hidrogénio produzido através de energias renováveis é denominado de hidrogénio verde. O processo de produção denomina-se eletrólise, que, sucintamente, se baseia no uso da eletricidade (neste caso, gerada por fontes de energia renováveis) para separar o hidrogénio da água (H₂O) (Petrofac, s.d.). Considerando que ambos os ciclos de combustível se baseiam em energias renováveis, os BEV são substancialmente mais eficientes que os veículos a hidrogénio (figura 3).

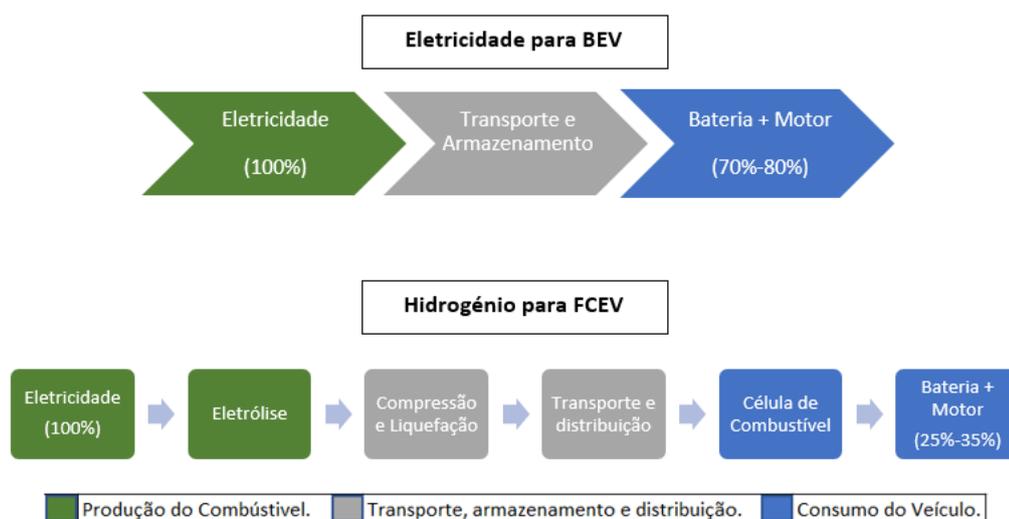


Figura 3. Eficiência energética do ciclo de combustível de FCEV e BEV. Adaptado de Volkswagen AG, 2019, *website*.

O BEV armazena a energia elétrica na sua bateria, sendo apenas necessário transportá-la do local onde esta é gerada e armazenada para o veículo. Neste processo admitem-se perdas de 20% da energia inicialmente gerada (Volkswagen AG, 2019), um valor influenciado por fatores como a distância percorrida pela eletricidade, conversões de corrente, perdas energéticas durante o carregamento do veículo e a temperatura exterior. Dentro do veículo, apenas uma pequena parte da energia é perdida no armazenamento da eletricidade da bateria e na sua transmissão para o motor, dependendo do modelo.

O FCEV, por sua vez, requer hidrogénio para se movimentar. Produzi-lo (através do método mais sustentável) requer a utilização de energia elétrica para o processo de eletrólise

da água. Neste processo, cerca de 30% da energia perde-se na produção do combustível. Para que se consiga transportar, armazenar e distribuir o hidrogénio, este é liquefeito e comprimido a pressões elevadas. Depois, é transportado para estações de abastecimento através de um canal tubular (do tipo gasoduto) e/ou veículos pesados especializados. No conjunto destes processos, perdem-se outros 20% da energia inicial. Dentro do veículo, o hidrogénio será armazenado em tanques de alta pressão e utilizado na célula de combustível, onde irá reagir com oxigénio para formar de novo água. A energia resultante dessa reação é aproveitada para movimentar o veículo e para recarregar as baterias de suporte, mas neste processo também se perde energia. Este conjunto de processos revelam-se na eficiência energética final dos FCEV, que apenas aproveitam cerca de 25% a 35% da energia inicialmente gerada (Idem).

Pode-se concluir que um BEV é cerca de duas a três vezes mais eficiente que um veículo a hidrogénio. Isto significa que é necessário, pelo menos, o dobro da energia para sustentar um parque automóvel a hidrogénio em relação aos BEV. A menor eficiência também se reflete nos preços de venda ao consumidor de cada tipo de combustível, que serão mais baratos quando considerando os BEV, pois estes aproveitam a energia elétrica gerada inicialmente.

Infraestruturação

No caso dos BEV, a eletricidade já se encontra disseminada pela maior parte da população. Isto permite que o utilizador consiga carregar o seu veículo de múltiplas maneiras, sendo uma das mais práticas carregar no local de residência. Considerando dados de 2019, cerca de 54% da população portuguesa vive em vivendas e os outros 46% em apartamentos (Eurostat, 2019a). Ou seja, sem considerar a população residente em apartamentos com acesso a estacionamento privado, pelo menos metade da população residente em Portugal tem potencial acesso a carregamentos domésticos.

A rede de carregadores públicos encontra-se em expansão, que deve acompanhar o ritmo da expansão do parque de BEV ligeiros, em Portugal.

No caso do hidrogénio, é necessário criar o ciclo de combustível quase inteiramente de raiz. Em Portugal, existe apenas um posto de abastecimento de hidrogénio para veículos ligeiros, no município de Cascais (PRF Gas Solutions [PRF], s.d.).

Em relação a infraestruturas de produção de hidrogénio verde em grande escala, não existe nenhuma, apesar de já existirem planos (Silva, R. 2021).

Devido à menor eficiência energética do ciclo de combustível dos FCEV, este irá requerer mais energia relativamente aos BEV, o que implica também um maior investimento em infraestruturas de produção energética (renováveis).

O ciclo do hidrogénio verde (produção, armazenamento, distribuição), para FCEV, encontra-se num estado embrionário quando em comparação com o ciclo da eletricidade e a sua distribuição para BEV. Desafios no âmbito do financiamento para a infraestruturação do ciclo de combustível (Sánchez, 2021) podem refletir-se numa transição mais lenta, relativamente aos BEV.

Disponibilidade dos recursos abióticos

A transição para qualquer um dos tipos de veículo requer a extração de uma grande quantidade de recursos. Em qualquer um dos casos, com o objetivo de uma economia circular sustentável, o veículo deve ser reciclado no seu final de vida, de modo a reaproveitar os materiais outrora extraídos.

Com este fator em mente, resumidamente, se existirem recursos suficientes para alterar o parque automóvel de veículos ligeiros e acompanhar a sua expansão, estes recursos poderão, futuramente, ser quase totalmente provenientes de reciclagem. Uma taxa elevada de materiais reciclados no total de materiais utilizados para o setor implica uma redução do impacto ambiental derivado das explorações mineiras.

As células de combustível utilizadas nos FCEV necessitam de platina na sua composição (podendo também ser substituída por outros metais do grupo das platinas, com perdas de eficiência). Um recurso com reservas escassas, concentradas na sua maioria num país (África do Sul, cerca de 91% das reservas mundiais) (United States Geological Survey [USGS], 2021) e de preços elevados, pondo em causa a expansão deste tipo de tecnologia no setor dos veículos ligeiros.

Até 2020 foram descobertos recursos na ordem das 100 000 toneladas (69 000 toneladas de reservas) de metais do grupo das platinas (USGS, 2021). Apesar de ser uma quantidade ínfima em relação a outros metais, como o alumínio ou o cobre, este fator por si só não é suficiente para ditar a viabilidade dos FCEV.

É crucial saber a quantidade de materiais que cada tipo de veículo utiliza. Considerou-se o Toyota Mirai³ que utiliza cerca de 30 gramas (0,03kg) de platina na sua célula de combustível (Onstad, 2019).

Com mais de 1000 milhões de veículos ligeiros no planeta (Fuel Freedom Foundation, s.d.), atualmente, seriam necessários cerca de 30 milhões de kg de platina (30 000 toneladas), considerando que os veículos utilizariam a mesma quantidade de platina que o Toyota Mirai. Estes valores indicam que, apenas para a transição do setor dos veículos ligeiros, os FCEV iriam requerer cerca de metade das reservas do metal ou cerca de um terço dos recursos mundiais conhecidos. E isto sem considerar a expansão prevista para o setor dos veículos ligeiros, que se espera que triplique até 2050 (Idem).

Evoluções no âmbito da redução do conteúdo de platina ou da sua substituição por um material mais abundante são cruciais para o desenvolvimento sustentável deste tipo de veículos (Sealy, 2008).

As células de combustível poderão ter um papel importante na descarbonização do setor industrial, energético e de transportes pesados de longa distância. No transporte, especialmente veículos rodoviários pesados, navios e/ou aviões, aplicações em que fatores como o peso podem dificultar a instalação de baterias com a capacidade energética necessária para deslocações de longa distância. Na produção e armazenamento de energia, onde o excesso de energia produzido por fontes de energias renováveis pode ser utilizado para produzir hidrogénio. Este será posteriormente consumido para equilibrar a rede de energia com as necessidades energéticas da sociedade, sendo um método de armazenamento energético eficaz.

Considera-se, portanto, que os metais do grupo das platinas devem ser conservados para outros usos que não veículos ligeiros.

³ O único modelo a hidrogénio disponível no mercado português (8/10/2021),

7 – Desafios à transição

Os veículos a combustão interna (a gasóleo ou gasolina) são considerados a norma, compondo cerca de 97,90% (INE, 2019) dos veículos rodoviários ligeiros a circular em Portugal. Sendo os mesmos predominantes, para se avaliar se os BEV são realmente a melhor opção, é crucial a comparação de ambos.

Para este trabalho avaliaram-se as diferenças entre ambos os tipos de veículo para o seu utilizador, de modo a identificar e compreender melhor os desafios a superar para acelerar a transição. Essencialmente as principais diferenças são referentes à autonomia, abastecimento e economia.

7.1. – Autonomia e abastecimento

Autonomia

Este é um dos fatores que muitos consideram ser o “tendão de Aquiles” dos veículos elétricos. Um BEV, tendencialmente, tem menos autonomia (percorre uma menor distância de depósito/bateria cheio/a) que um veículo a combustão interna semelhante.

Analisando os valores da tabela 1, pode-se verificar que, um BEV moderno já consegue percorrer distâncias significativas, de mais de 350km com uma só carga. A autonomia dos BEV tem vindo a aumentar; modelos como o Renault Zoe e Nissan Leaf, nas suas primeiras versões, contavam com autonomias realistas de pouco mais de 130km⁴. Estas versões eram das poucas opções disponíveis no mercado em 2015, apenas há 7 anos atrás. Desde então, evoluções no âmbito do aumento da densidade energética (König et al., 2021) e da redução dos preços das baterias de iões de lítio (figura 4) potenciaram o aumento de autonomia nos BEV. É expectável que, com a continuação da evolução desses fatores, a próxima geração de veículos elétricos a bateria tenha ainda mais autonomia.

Abastecimento

A autonomia inferior não seria um problema tão grave se os métodos de abastecimento fossem semelhantes. Num veículo a combustão interna, apenas é necessário dirigir-se a um posto de abastecimento para encher o seu depósito com combustível líquido, num processo que demora poucos minutos (dependendo de fatores como filas de espera e quantidade de combustível que vai colocar, por exemplo).

⁴ Informação adquirida em <https://ev-database.org/>

Um BEV, por sua vez, necessita de acesso a eletricidade para carregar as suas baterias. Este acesso pode ser uma tomada doméstica convencional, um carregador doméstico (*wallbox*) ou um posto de carregamento público, onde o veículo poderá carregar no seu potencial máximo, ou pelo menos a um ritmo mais acelerado caso a potência do posto de carregamento não seja superior ao potencial máximo de carga do veículo.

Devido às diferenças substanciais de autonomia e tempos de carregamento entre os vários modelos de BEV disponíveis no mercado, utilizar-se-ão os três modelos de BEV mais vendidos em Portugal, no ano de 2020, como exemplo de tempos de carregamento consoante os diversos métodos utilizados (tabela 1).

Carregamentos domésticos serão tidos em conta desde os 0 aos 100% de estado de carga da bateria. Os carregamentos públicos, por sua vez, oferecem um grau de complexidade de análise que envolve múltiplas variáveis. Estes são contabilizados apenas entre os 10 e 80%, isto porque os carregamentos rápidos ocorrem maioritariamente em postos públicos, onde um veículo normalmente não chegará com menos que 10% do estado de carga da bateria. A partir dos 80%, por motivos de segurança e longevidade da bateria, a velocidade de carregamento diminui substancialmente, pelo que apenas se contabiliza como carregamento rápido até essa percentagem.

Tabela 1. Autonomia e tempo de carregamento dos três modelos de BEV mais vendidos em Portugal no ano de 2020. Extraído de electric vehicle database [evdatabase], 2020a, website; evdatabase, 2020b, website; evdatabase, 2020c, website.

Marca, modelo e capacidade da bateria	Autonomia (WLTP)	Tempo de carregamento (horas e minutos)		
		Tomada doméstica	Wallbox (7kwh - 22kwh)	(2) Fast charge
(1) Renault Zoe 52kWh	395km	26h 45m	8h 30m - 3h	56m
Tesla Model 3 50kWh	448km	25h 45m	8h - 5h 30m	21m
(1) Nissan Leaf 62kWh	385km	29h 45m	10h	33m

Notas: 1- Autonomia dos modelos “Nissan Leaf” e “Renault Zoe” foi atribuída com base nas versões com a bateria maior, visto serem mais recentes e, considerando a evolução de ambos os modelos, melhores representantes de um mercado atual e futuro. 2- “Fast charge” remete à velocidade máxima a que o BEV consegue carregar.

Em ambos os métodos, o tempo utilizado para finalizar a ação é substancialmente maior do que num veículo a combustão, podendo demorar mais de 20 horas para carregar numa tomada doméstica. Com o auxílio de uma *wallbox* (carregador doméstico) esses

tempos podem diminuir para cerca de 6 a 8 horas e cerca de 21 a 56 minutos, à velocidade máxima, em postos de carregamento rápidos ou ultrarrápidos (tabela 1). O carregamento através de tomadas domésticas tem importância residual devido aos tempos de carregamento demasiado longos e à possibilidade de, na maioria dos casos, poder instalar-se uma *wallbox*. Ainda assim, não deixa de ser uma opção que diversifica os métodos de abastecimento de um BEV e que pode cobrir as necessidades de muitos condutores.

Apesar dos tempos de carregamento, o BEV permite ao seu utilizador abastecer o veículo no local onde reside e/ou trabalha, eliminando a necessidade de deslocações obrigatórias a postos de abastecimento ou outros locais para adquirir combustível. Este fator também permite o aproveitamento do tempo que o veículo não está a ser utilizado. Por exemplo, uma ida ao supermercado pode ser aproveitada para deixar o veículo a carregar enquanto estacionado, desde que existam as infraestruturas adequadas.

Em Portugal, a rede de carregadores públicos encontra-se em expansão. Atualmente (15/09/2021), contam-se mais de 4000 postos de carregamento públicos pelo país (Anexo B), dos quais cerca de 800 são carregadores rápidos ou ultrarrápidos (>50kW) (Governo da República Portuguesa, 2021a).

É complexo avaliar se a quantidade de carregadores públicos é o suficiente para satisfazer as necessidades dos condutores de BEV atualmente, porque para determinar esse fator é crucial saber como os condutores utilizam os seus veículos; se os carregam no local de residência; potência dos carregadores, entre muitos outros fatores. Apesar de ser complexo estimar essa relação, pode-se afirmar que a rede de carregadores pública não está apta para garantir segurança de abastecimento para muitas pessoas sem acesso a carregamentos domésticos. Cada vez mais existe uma maior disseminação de estações de carregamento, porém, os postos disponíveis são insuficientes em quantidade para que a população possa deles depender. Por exemplo, os postos disponíveis na maioria dos supermercados e outros estabelecimentos que podem ser aproveitados para carregamentos são normalmente escassos em quantidade (ANEXO C), podendo estes serem facilmente sobrecarregados num cenário de dependência sobre carregamentos públicos. Porém, as infraestruturas de carregamento são facilmente expansíveis e deverão acompanhar o crescimento do parque automóvel de BEV.

Em grande parte das autoestradas, já se podem encontrar carregadores públicos nas estações de serviço (UVE, 2021b). Apesar de isto ser um bom sinal de evolução, em grande parte das estações de serviço, apenas se pode encontrar infraestruturas de carregamento onde

somente dois veículos podem carregar em simultâneo (Silva, B. 2021). Este fator pode influenciar a decisão de um consumidor em optar por veículos a combustão em vez de BEV, na eventualidade de ter de fazer viagens longas e os carregadores estarem ocupados devido há pouca disponibilidade, aumentando o tempo necessário para abastecer o veículo para além do tempo de carregamento já relativamente longo.

O aumento da quantidade de carregadores é um problema do “ovo e da galinha”, pois os operadores desses postos apenas se expandem se existir mercado (mais veículos elétricos a bateria a utilizarem carregadores públicos) e o mercado apenas se expande se existir segurança de abastecimento.

A expansão dos postos de carregamento público é crucial para satisfazer as necessidades de abastecimento da população que não consegue carregar o veículo na sua residência e para garantir segurança de abastecimento em viagens de longa distância. O Governo português atua neste âmbito através da rede Mobi.e, uma empresa pública criada no âmbito da gestão e monitorização da rede de postos de carregamento públicos. Através desta entidade, o Estado age com o objetivo de facilitar e dinamizar a transição para a mobilidade elétrica. Ao potenciar a expansão da rede de carregadores, os problemas associados com a falta de infraestruturação de abastecimento serão progressivamente resolvidos, permitindo que cada vez mais pessoas optem por um BEV.

Existe, também, uma ligação forte com os tempos de carregamento de um BEV e a quantidade de postos de carregamento necessários para suportar um parque automóvel eletrificado. Tempos de carregamento semelhantes ao tempo preciso para encher um depósito de combustível de um veículo a combustão, facilitariam a tarefa de assegurar carregamentos para toda a população.

Já existem BEV no mercado português que conseguem recarregar as suas baterias (10%-80%) em menos de 20 minutos, como é o caso dos modelos Hyundai Ioniq 5 e Kia EV6 (ambos 18 minutos).

Espera-se que os tempos de carregamento continuem a diminuir. Nos próximos anos, estão projetados veículos elétricos a bateria para o mercado de automóveis ligeiros com tempos de abastecimento considerados chave para a transição do setor de transportes ligeiros.

Várias tecnologias de carregamento rápido aplicadas em BEV, surgiram nos desportos motorizados, onde a competição eleva a procura por inovações tecnológicas nesse

setor. Por exemplo, o sistema de carregamento de 800 volts do Porsche Taycan, que permite tempos de carregamentos dos 10-80% em cerca de 22 minutos, foi testado e aprovado primeiro nos desportos motorizados e só depois introduzido num modelo de produção para o público (Volkswagen AG, 2021).

Tendo este fator em mente, as novas regras da FIA (Federação Internacional Automóvel) para competições dos BEV GT, estipulam que os veículos têm de estar aptos para carregar a 700kW (2021). Como termo de comparação, isto permite carregar um BEV com uma bateria de 70kWh dos 10 aos 80% em menos de 5 minutos.

Observando o mercado chinês, múltiplas companhias de produção de baterias e automóveis, relativamente desconhecidas no mercado português, revelam as suas inovações no setor. Uma fabricante em específico, a GAC motors, revelou um modelo de BEV, o Aion V com a capacidade de carregar dos 0% aos 80% em cerca de 8 minutos, a começar a sua produção em 2021 (GAC motors, 2021)

Para atingir tempos de carregamento tão reduzidos, é necessário um carregador com potências elevadas, de cerca de 480kW, que a própria marca disponibiliza (Doll, 2021). Em Portugal, ainda não existem carregadores públicos com potências tão elevadas devido à sua recente inserção no mercado. A implementação prévia de carregadores com potências elevadas é importante como preparação para um futuro em que os BEV conseguirão aceitar essas correntes.

Com estes fatores em mente, considera-se que a tecnologia vai atingir tempos de carregamento semelhantes ao tempo necessário para encher o depósito de combustível de um veículo a combustão, provavelmente durante esta década (2020-2030). Vários fatores apontam para que o tempo de carregamento de um BEV deixe de ser um obstáculo à transição num futuro próximo. A autonomia, que também é expectável que continue a aumentar, será um aspeto cada vez menos problemático.

Os tempos de carregamento e autonomia dos BEV mais modernos já são consideravelmente bons para condutores que tenham possibilidade de carregar no local de residência e não efetuem viagens de longa distância regularmente.

7.2. – Economia

O fator economia é complexo e implica a análise de várias variáveis, sendo de extrema importância para avaliar a viabilidade dos veículos elétricos a bateria. Para que o contributo dos BEV para a descarbonização seja relevante, este tem que ser acessível às massas e, preferivelmente, ser mais económico do que os veículos a combustão interna.

Como tal, decidiu-se avaliar o preço de compra do veículo, o preço de compra da *wallbox* (apenas para BEV) e os incentivos governamentais existentes em Portugal, de modo a estimar os gastos iniciais de um BEV em relação a um veículo a combustão interna equivalente. Depois, averiguaram-se os custos de operação dos veículos (combustível e manutenção), para compreender as diferenças de custo a longo prazo.

7.2.1. – Preço de compra do veículo

Um BEV tem um preço de compra superior a um veículo do mesmo segmento a combustão interna. Tomemos como exemplo um modelo da marca Hyundai, o Kauai, disponível em 3 tipos de motorização: a gasolina, a gasóleo e elétrico a bateria. E, também, o exemplo de dois modelos do fabricante Volkswagen, um BEV (ID.3 Pro) e um veículo a combustão (Golf), ambos do mesmo segmento, de modo a comparar um modelo unicamente elétrico a um modelo a combustão. Foram utilizadas apenas as versões base para cada motorização/capacidade de bateria, os preços foram atualizados dia 12/08/2021 (tabela 2).

Tabela 2. Comparação de preço entre BEV e veículos a combustão equivalentes. Extraído de *websites* oficiais dos fabricantes Hyundai e Volkswagen⁵.

Modelo do veículo	Versão	Preço
Hyundai Kauai	Gasolina 1.0	21 756,46 €
	Gasóleo 1.6	28 830,17 €
	Elétrico 39kWh	36 505,17 €
	Elétrico 64kWh	41 055,16 €
Volkswagen Golf	Gasolina 1.0	26 579,00 €
	Gasóleo 2.0	29 394,01 €
Volkswagen ID.3 Pro	Elétrico 58 kWh	36 749,00 €
	Elétrico 77 kWh	42 138,00 €

Comparando os preços de todas as versões, verifica-se que os BEV têm preços substancialmente superiores; no caso do Hyundai Kauai, a versão BEV de 64kWh tem um preço quase equivalente a dois veículos da versão a gasolina. Analisando os modelos da

⁵ <https://www.hyundai.pt/>; <https://www.volkswagen.pt/>. (11/07/2021).

Volkswagen, o mesmo se verifica, mesmo comparando o veículo a combustão mais caro da análise (Golf com motorização a gasóleo) com a versão base do ID.3 Pro (58kWh), o BEV revela-se 25% mais caro (tabela 2).

Qual a razão de existir esta disparidade de preços entre os dois tipos de veículos?

Para além de fatores de produção em massa e economias de escala ainda não atingidos pelos BEV, os preços mais elevados devem-se, principalmente, às baterias de iões de lítio que requerem diversas matérias-primas e processos de produção específicos de consumo energético elevado, representando cerca de 30% do valor do veículo (Boudway, 2020).

O preço médio, por kWh de capacidade de uma LIB para aplicações automóveis, no ano de 2010, era superior a 1000 euros. Em apenas 10 anos, esse valor desceu cerca de 88%, um valor que se espera que continue com esta evolução à medida que o setor automóvel se converte para elétrico (figura 4).

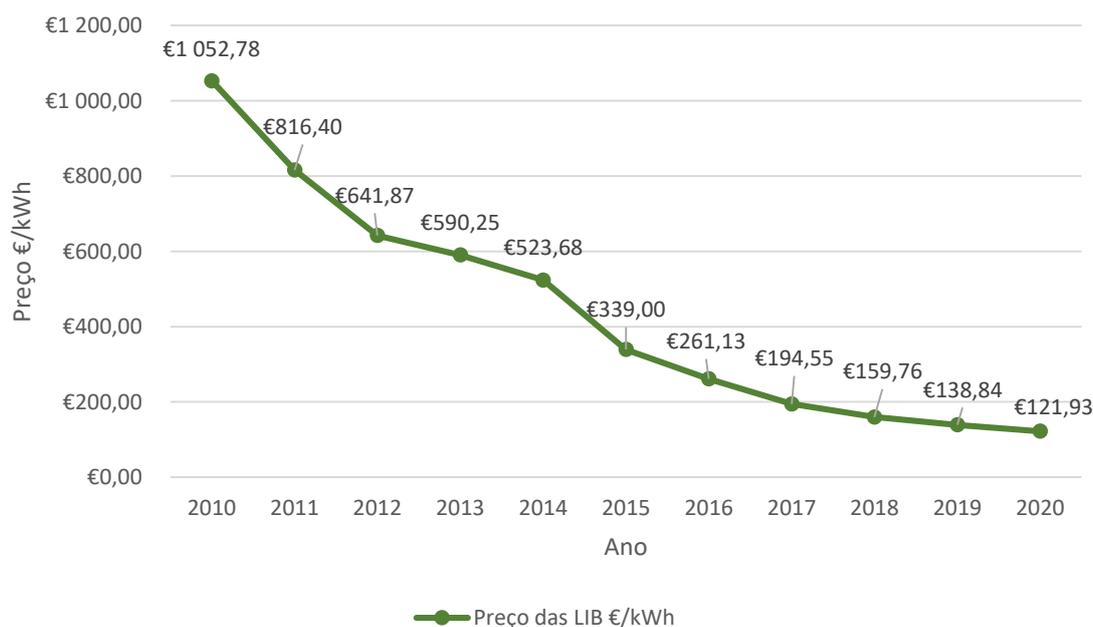


Figura 4. Evolução do preço médio de LIB para BEV (€/kWh) 2010-2020. Adaptado de Agência Internacional do Ambiente [IEA], 2020; Boudway, 2020.

Como ponto de comparação, uma bateria de 62kWh, como a do Volkswagen ID.3 Pro 58kWh (62kWh total, 58kWh utilizáveis), se fosse fabricada em 2010, apenas a sua bateria iria custar cerca de 65 mil euros, ou 177% do preço de venda ao público do ID.3, na sua totalidade (Tabela 2).

Baterias mais baratas permitem a disponibilidade de veículos com maior autonomia e mais acessíveis, o que potencia a adoção da mobilidade elétrica. Espera-se que os BEV atinjam paridade de preços de aquisição com os veículos a combustão interna, em todos os segmentos, a partir de 2025-2027 (BloombergNEF & Federação Europeia para o Transporte e Ambiente [T&A], 2021).

7.2.2. – *Wallbox*/Carregador doméstico

Para além do preço do veículo, para recarregar as baterias de um BEV de um modo mais prático, a instalação de uma *wallbox* deve ser tida em conta (se possível). Após uma análise de alguns vendedores (Galp, EVChargers, Iberdrola, 09/07/2021), uma *wallbox*, juntamente com a sua instalação, admite um preço de cerca de 1000€. Este preço é influenciado por fatores como a capacidade de carregamento da *wallbox*, marca, dificuldades técnicas de instalação, entre outros.

7.2.3. – Incentivos fiscais

Em Portugal, para incentivar a compra de veículos elétricos a bateria, são atribuídos fundos neste sentido. Em 2021, os incentivos para a compra de um BEV ligeiro de passageiros, para a pessoa singular, estão na ordem dos 3000€ por pessoa, para veículos até 62 500€ (Governo da República Portuguesa, 2021b). Este valor não cobre a diferença entre um BEV e um modelo a combustão equivalente (Tabela 2). Por não existirem incentivos governamentais para a instalação de carregadores domésticos, pode-se considerar que cerca de um terço do incentivo é abatido pela instalação de uma *wallbox* (se necessária).

Outro grande problema deste incentivo é a sua escassa disponibilidade. Apenas 2,1 milhões de euros foram atribuídos para os veículos ligeiros de passageiros, o que significa que apenas existem 700 incentivos disponíveis por ano. As candidaturas rapidamente superaram a oferta de incentivos nos primeiros 3 a 5 meses de 2019, 2020 e 2021, sendo que no resto do ano não foi possível adquiri-los.

De preferência o valor deve cobrir a diferença atual entre ambos os tipos de veículo. A Alemanha, por exemplo, disponibiliza incentivos no valor de 9000€ para BEV até 40 mil euros (e 7500€ acima desse valor). Estes valores cobrem a diferença entre a maioria dos modelos de BEV em relação a modelos de combustão interna equivalentes, e focam-se em

ajudar a população a adquirir um BEV (devido aos seus preços relativamente elevados). Também, aplicaram incentivos à instalação de postos de carregamento públicos e wallbox, potenciando a acessibilidade a carregamentos (The wallbox team, s.d.). Estes incentivos são um dos motivos pela elevada adoção recente de BEV na Alemanha, o berço dos veículos a combustão.

Para além do incentivo monetário, os BEV, em Portugal, estão isentos de ISV (Imposto Sobre o Veículo) e IUC (Imposto Único de Circulação), e não pagam estacionamento em vários locais.

7.2.4. – Gastos em combustível

Para o cálculo dos gastos em combustível, foram recolhidos dados referentes aos preços médios no ano de 2019. Escolheu-se o ano de 2019, por este ser o ano com dados mais recentes sem influência da pandemia do Covid-19, e utilizaram-se valores médios anuais devido à variação dos preços de ambos os tipos de combustível (Eletricidade e combustíveis fósseis).

Como base de comparação, foram utilizados dois modelos pertencentes ao mesmo fabricante e do mesmo segmento, o Golf (a gasolina e a gasóleo) e o ID.3 Pro (BEV), veículos da fabricante Volkswagen.

BEV

- Carregamentos domésticos

O preço da eletricidade para consumidores domésticos varia consoante vários fatores como as tarifas praticadas pelo comercializador de energia e o tipo de contrato (simples, bi-horário, tri-horário) (EDP, s.d.), fator que influencia as possíveis poupanças em combustível dos BEV. Por exemplo num contrato de regime bi-horário, a energia é mais barata, normalmente, nos períodos noturnos (Idem). Carregar um BEV durante esses períodos permite uma redução substancial no preço dos carregamentos, podendo chegar a 50% em relação ao preço no horário diurno.

A eletricidade, em média, no ano de 2019, custou ao consumidor doméstico residente em Portugal, aproximadamente 0,22€ por kWh utilizado. (Eurostat, 2019b).

Para além do custo direto da eletricidade, é importante ter em conta que nem toda a energia elétrica transmitida para o veículo é aproveitada pela bateria. Parte da energia é

utilizada pelos sistemas de controlo de temperatura da bateria e outra perde-se. Estas perdas de energia são influenciadas por múltiplas variáveis (ex: modelo do veículo, tipo de carregador, estado de carga do veículo e temperatura exterior), tornando difícil encontrar um valor adequado. Felizmente, o ciclo WLTP (Worldwide harmonized Light-duty vehicles Test Procedure) tem em conta essas perdas de energia.

Isto significa que, no caso de um BEV como o ID.3 Pro, que conta com consumos médios de 15,5kwh/100km⁶, conseguiria percorrer 100km com cerca de 3,41€, considerando carregamentos domésticos.

- Carregamentos públicos

Em relação aos carregamentos públicos, é complexo estimar os gastos.

Entrou-se em contacto com o Vice-Presidente da Mesa da Assembleia Geral da UVE (Associação de Utilizadores de Veículos Elétricos), Dr. Sérgio Mendes, que, em resposta, nos informou que o custo de carregamento público depende dos seguintes fatores: a) O preço da energia praticada pelo CEME (Comercializador de Energia para a Mobilidade Elétrica) contratado; b) o custo da operação e formas de cobrança no posto (por energia consumida, por tempo de ligação, ambos); c) a capacidade de potência instantânea e tipos suportados pelo posto; d) a capacidade de potência de carregamento do veículo elétrico em questão (em AC e/ou DC); e) a energia atual, na bateria antes do carregamento.

Tal grau de complexidade, dificulta uma estimativa geral de custos em carregadores públicos. Como tal, utilizou-se a estimativa da entidade gestora dos carregadores públicos em Portugal, a Mobi.E. Os valores estimados são para um carregamento de 25kWh e apontam para um máximo de cerca de 0,37€/kWh (carregadores rápidos de baixa tensão) e um mínimo de 0,32/kWh (carregadores normais de média tensão) (Entidade reguladora dos serviços energéticos [ERSE], 2021). Utilizar-se-ão os valores mais altos, relativos aos carregadores rápidos, para modular a estimativa. Considerando a estimativa de valor mais alto da Mobi.E, Um BEV como o Volkswagen ID.3 Pro, utilizando carregadores públicos, gastaria cerca de 5,74€ para percorrer 100km.

⁶ <https://www.volkswagen.pt/>. (11/07/2021).

Veículos a combustão interna

Por comparação, um carro do mesmo segmento e da mesma empresa, o Volkswagen Golf, a sua versão a gasolina 1.0 TSI 110 cavalos apresenta um consumo estimado de 5,33 l/100km⁷ e a sua versão a gasóleo 2.0 TDI 115 cavalos tem um consumo estimado de 4,62 l/100km⁸. Considerando a média do preço para venda ao público de combustíveis fósseis, um condutor de um Volkswagen Golf, na sua versão a gasolina 1.0 TSI 110 cavalos pagaria cerca de 8,10€ para percorrer 100km, caso abastecesse com gasolina simples. Utilizando gasolina aditivada esse valor aumentava para 8,26€ aproximadamente. Caso o condutor utilizasse a versão a gasóleo 2.0 TDI 115 cavalos, para percorrer uma distância de 100km, o condutor necessitaria de 6,42€ utilizando gasóleo simples e 6,65€ utilizando gasóleo aditivado (tabela 3).

Tabela 3. Preços médios anuais, em euros, da venda de combustíveis fósseis ao público em 2019. Extraído de Meirinho, 2019, p.10.

Combustível	Gasolina	Gasolina +	Gasóleo	Gasóleo +
P.V.P. médio anual (€)	1,52	1,55	1,39	1,44

Notas: Gasolina” e “Gasóleo” remetem aos combustíveis na versão simples e “Gasolina +” e “Gasóleo +” remetem aos combustíveis na versão aditivada.

É claro que, estes valores são apenas estimativos, baseados no teste WLTP (Worldwide harmonised Light-duty vehicle Test Procedure). Apesar de o teste tentar representar um modelo realista de condução de um veículo ligeiro, estes valores dependem de inúmeros fatores como estilos de condução, tipos de percurso, topografia e temperatura. Na maioria dos casos, os valores apresentados são otimistas, mas noutros podem até ser inferiores aos valores de consumo de combustível do veículo, calculados através do teste.

Ainda assim, sendo um bom meio de comparação (porque os veículos são sujeitos ao mesmo tipo de teste), decidiu-se recriar cenários de utilização do BEV em relação ao veículo a combustão, considerando diferentes perfis de carregamentos:

⁷ <https://www.volkswagen.pt/>. (11/07/2021).

⁸ *Idem*

Perfil 1: 100% carregamentos públicos, de modo a tentar recriar os gastos de uma pessoa sem acesso a carregamentos domésticos.

Perfil 2: 95% carregamentos domésticos e 5% carregamentos públicos, tentando recriar um condutor com acesso a carregamentos domésticos que cobre a maior parte das suas deslocações sem necessitar de carregamentos públicos.

Perfil 3: 60% carregamentos domésticos 40% carregamentos públicos, na tentativa de estimar os custos de um condutor que tem acesso a carregamentos domésticos e percorre longas distâncias regularmente.

Como distância percorrida de referência, utilizaram-se valores anuais, referentes a distância média percorrida de carro na União Europeia per capita, em 2019, cerca de 12000km (Odyssee-Mure, s.d.).

Para os BEV, utilizaram-se os valores definidos anteriormente para o preço médio dos carregamentos (definido como “Eletricidade (preço médio)”). Também se produziu uma estimativa referente a carregamentos com eletricidade em taxa bi-horária, onde se assumiu que os carregamentos domésticos seriam em períodos noturnos apenas, aproveitando os preços de eletricidade mais baixos para os carregamentos. Como referência, foi utilizado um custo de 0,117€ por kWh, com base nas tarifas bi-horárias da empresa Endesa⁹ (tabela 4).

Tabela 4. Estimativa de custos médios de combustível consoante tipos de combustível e métodos de carregamento (no caso dos BEV), para uma distância média anual percorrida de 12000km. Elaborada pelo autor com base nos perfis criados e em Odyssee-Mure, s.d..

Cenários	Tipo de combustível					
	Eletricidade (preço médio)	Eletricidade (bi-horário)	Gasolina	Gasolina+	Gasóleo	Gasóleo+
Perfil 1	688,80 €	-	972 €	991,20 €	770,40 €	798 €
Perfil 2	423,18 €	239,64 €				
Perfil 3	521,04 €	405,12 €				

Nota-se claramente que, com a possibilidade de carregamentos domésticos, um BEV proporciona uma oportunidade de poupança substancial em relação a um veículo a combustão interna. Comparando com a opção mais barata dos veículos a combustão, o gasóleo simples, um BEV que seja maioritariamente abastecido por carregamentos

⁹ Anexo de preços tarifa e-luz e gás, <https://www.endesa.pt/> . (11/07/2021)

domésticos (perfil 2), atinge poupanças de cerca de 530,76€ (68,9%) a 347,22€ (45,1%) anuais (tabela 4). Por outro lado, um BEV sem acesso a carregamentos domésticos (perfil 1), assume poupanças marginais 81,60€ (10,6%), que poderão nem ser atingidas caso os carregadores utilizados tenham taxas de utilização superiores (tabela 4). Por exemplo, com a taxa de 0,79€/kWh praticada pela operadora Ionity, um ID.3 necessitaria de cerca de 12,25€ para percorrer 100km, um valor substancialmente superior aos veículos a combustão interna.

7.2.5. – Manutenção

Um BEV apresenta uma mecânica mais simples do que um veículo a combustão interna, como estipula a fabricante Hyundai:

(...) o mecanismo elétrico tem menos componentes móveis. Para além de tornar a manutenção mais simples, também a torna mais económica porque há menos componentes a exigir “cuidados”, reparações ou substituições. A diferença monetária não é facilmente quantificável porque depende de vários fatores. (2021, s.p.).

Para além do menor número de componentes, alguns que ambos os tipos de veículos partilham, têm menor desgaste nos BEV. Por exemplo, uso do motor elétrico para a travagem alivia alguma pressão nos travões, um fator que implica a sua substituição após uma maior distância percorrida, relativamente a veículos a combustão. É complexo calcular os custos relacionados com a manutenção dos veículos devido às inúmeras variáveis dos quais estes dependem (utilização do veículo, marca, modelo, oficina, etc.). Estimativas apontam para cerca de 200 a 400 euros de poupança anual em relação a veículos a combustão interna. (Volkswagen AG, 2021a).

Em síntese

Apesar das dificuldades na comparação, conclui-se que, um BEV tem custos de utilização e manutenção relativamente inferiores a um veículo a combustão interna. Porém, um condutor que esteja limitado a carregamentos públicos apenas, fica vulnerável aos preços praticados pelas operadoras disponíveis nas áreas onde transita (que podem ser poucas, diminuindo a possibilidade de escolher uma opção mais económica). Isto pode tornar os custos em combustível semelhantes ou até superiores aos de um veículo a combustão.

As vantagens relacionadas com os custos de operação e manutenção apenas se tornam relevantes a longo prazo, devido aos custos de aquisição substancialmente superiores de um BEV. Caso ambos os tipos de veículo apresentassem preços de aquisição semelhantes, um veículo elétrico a bateria seria claramente uma opção mais económica para pessoas com acesso a carregamentos domésticos.

8 – Inquérito

Pode-se considerar que ambos os tipos de veículo (BEV e combustão interna) têm características distintas que podem influenciar a decisão dos condutores entre qual preferem utilizar. Na tentativa de incluir a perceção dos condutores de veículos a combustão sobre os BEV, foi elaborado um inquérito por questionário que apenas incluiu participantes com os seguintes requisitos: a) ter mais de 18 anos de idade; b) possuir carta de condução e veículo ligeiro próprio (a gasóleo ou gasolina); c) residir em Portugal.

Com a intenção de obter uma perceção de um conjunto de condutores residentes em Portugal, o questionário foi disseminado através de amigos, família e redes sociais. No questionário não se assumiu a variável “região de residência” pois considerou-se que não seria relevante numa amostra de pequena dimensão e que, devido à situação de confinamento consequente do vírus Covid-19, seria complicado definir amostras regionais. Apesar disso, foi possível apurar que entre os participantes, incluem-se residentes nos municípios de Braga, Porto, Lisboa, Sintra, Oeiras, Faro, Olhão, Albufeira e Tavira, o que já garante à amostra alguma diversidade territorial.

As questões foram formuladas tendo em consideração as principais diferenças entre ambos os tipos de veículos, averiguadas no capítulo 7.

O questionário foi dividido em 3 partes. A primeira parte destinada a definir um perfil do participante, ao adquirir dados pessoais dos entrevistados. A segunda parte incidiu nos hábitos de condução dos participantes de modo a compreender a utilização que estes davam ao seu veículo ligeiro. A parte final teve como objetivo avaliar a perceção que os entrevistados tinham sobre os BEV.

O inquérito foi testado primeiramente, com 10 pessoas, de idades compreendidas entre os 20 e 55 anos de idade, com o propósito de averiguar erros na produção do inquérito.

Após identificadas e corrigidas as falhas, abriu-se o inquérito ao público online, através da plataforma *Google forms*.

8.1. – Perfil do participante

De modo a caracterizar o participante, recolheram-se dados referentes à idade, sexo e sua profissão. Também, foram adquiridos dados sobre o tipo de residência e a disponibilidade de estacionamento, com o objetivo de averiguar a possibilidade de carregamentos domésticos por parte dos participantes.

O inquérito contou com 161 participantes, 65% (105) do sexo feminino e 35% (56) do sexo masculino de diversas áreas profissionais, realçando-se, em especial, a concentração de professores, cerca de 40% dos participantes (65).

À parte do grupo “65+”, os participantes distribuíram-se de forma quase homogénea pelos outros grupos etários definidos (figura 5). Apesar do grupo “65+” contar com uma amostra demasiado pequena para ter valor de análise, a dispersão pelos outros grupos etários é mais significativa. Isto porque se espera que na faixa etária dos 65+ a probabilidade de adquirir um veículo será mais reduzida do que nas outras, ou seja, considerar um BEV pode já não estar nos planos de grande parte dessa faixa etária.

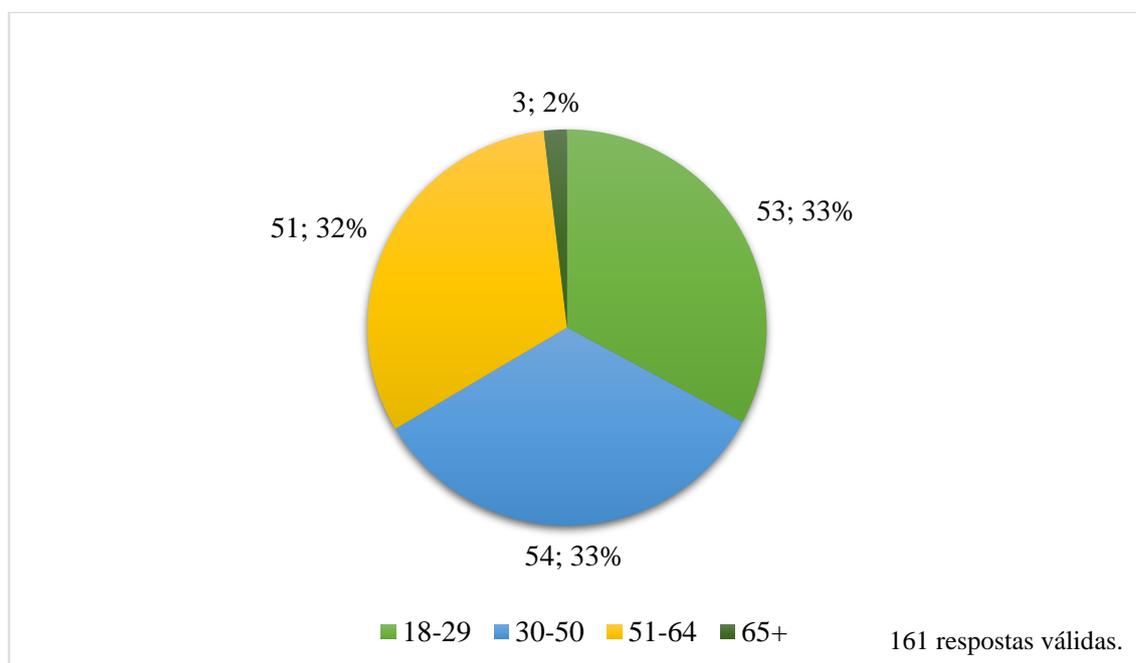


Figura 5. Idade dos participantes. Fonte: Questionário a automobilistas, 2021.

Avaliou-se também o tipo de habitação dos participantes, isto de modo a averiguar as possibilidades de carregamentos domésticos. Geralmente, residentes em “Vivenda

c/estacionamento privado” têm possibilidade de carregamentos domésticos. Para os residentes em “Vivenda s/estacionamento privado”, não existe a possibilidade de carregamentos domésticos, considerando que, para carregar o BEV o cabo não se pode situar na via pública.

Para os residentes em “Apartamento c/estacionamento privado”, considerou-se também a possibilidade de carregamentos domésticos, isto porque é possível, na maioria dos estacionamentos, instalar uma *wallbox* (Nabais & Rendo, 2019).

Porém, instalar uma *wallbox* no estacionamento privado de um prédio/condomínio é um processo que pode contar com vários obstáculos técnicos.

Portanto, assumindo estes fatores, cerca de 30% dos participantes têm possível acesso a carregamentos domésticos. Este valor eleva-se a 62% quando se considera, também, os participantes que residem em “Apartamento c/estacionamento privado” (figura 6).

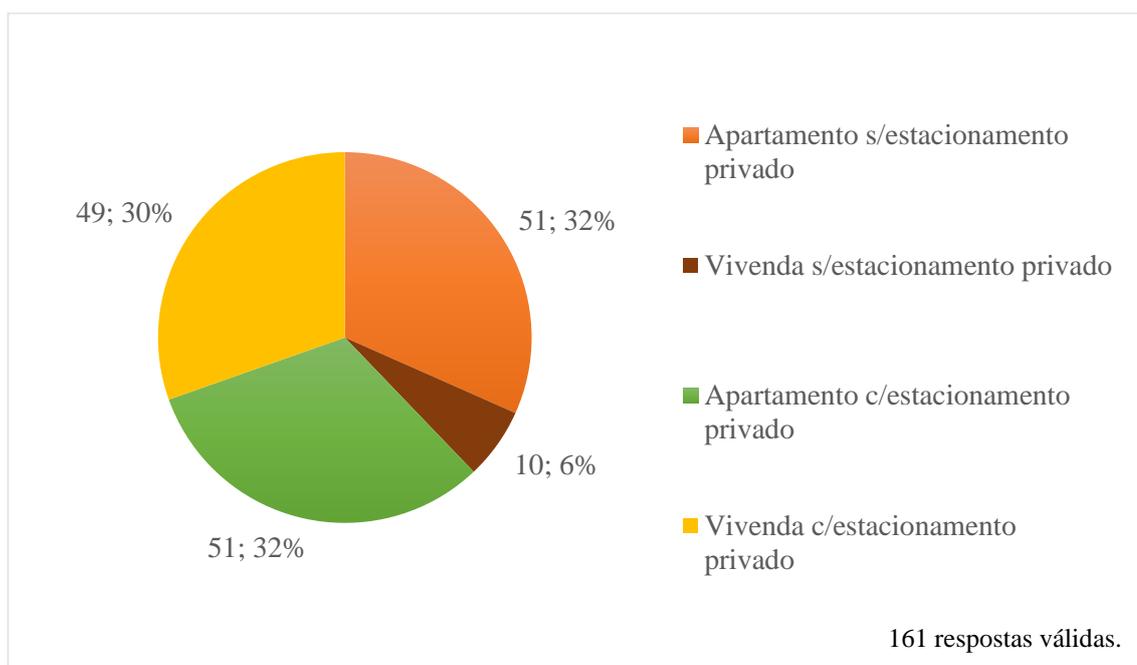


Figura 6. Tipo de habitação dos participantes. Fonte: Questionário a automobilistas, 2021.

8.2. – Utilização do veículo

Para uma análise mais completa, é crucial saber como os participantes utilizam os seus veículos ligeiros. Com esse objetivo em mente, os participantes responderam a perguntas como a quantidade de veículos que possuem, o tipo de utilização que dão ao seu veículo, a distância média que percorrem por mês, entre outros.

Cerca de 44% dos 161 participantes possuem apenas um veículo (considerando os veículos em seu nome e/ou que constem no seu agregado familiar e utilizam com frequência). Aproximadamente 43% possuem dois veículos e os outros 13% possuem 3 ou mais veículos. A maioria dos participantes utiliza regularmente o seu veículo para deslocações pessoais (figura 7), o resto dos participantes utilizam o veículo pontualmente para deslocações pessoais. Nenhum participante utiliza o seu veículo como profissão.

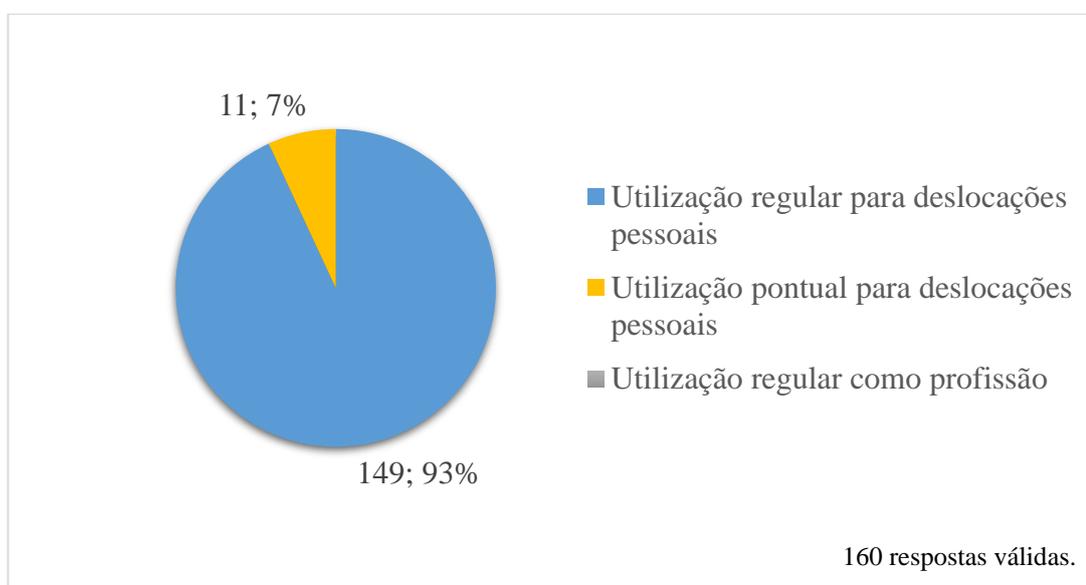


Figura 7. Tipo de utilização do veículo ligeiro dos participantes. Fonte: Questionário a automobilistas, 2021.

O facto de não existir participantes que utilizem o seu veículo como profissão, diminui a possibilidade de existirem cenários de utilização intensos, fora do comum, de um veículo ligeiro (grandes distâncias percorridas diariamente). Analisando mais pormenorizadamente, nota-se que, a grande maioria dos participantes utilizam o seu veículo diariamente (figura 8). A utilização diária do veículo ligeiro define um elevado grau de dependência por parte da amostra, quer por necessidade, quer por comodidade.

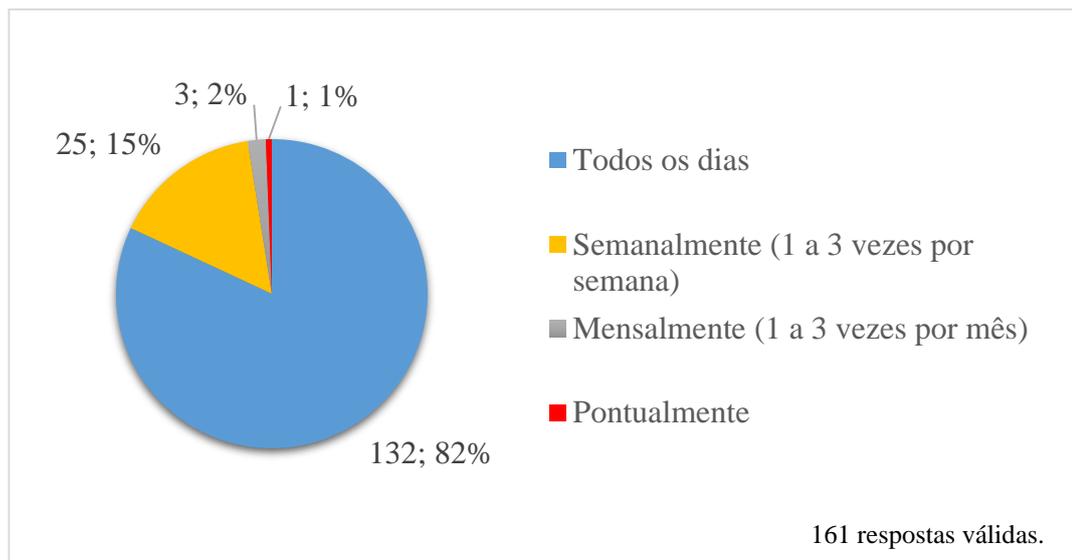


Figura 8. Frequência de utilização do veículo leveiro dos participantes. Fonte: Questionário a automobilistas, 2021.

Independentemente da motivação subjacente à dependência diária do seu veículo, as pessoas deverão continuar a utilizá-lo. Este aspeto é importante pois os seus veículos terão uma utilização regular, para a qual os BEV devem estar preparados, o que ajudará na definição de constrangimentos.

Interessante para a análise é também a distância que os participantes percorrem. Este fator pode influenciar a escolha dos participantes por um BEV, participantes que percorram grandes distâncias, podem preferir, por comodidade ou praticidade, continuar a utilizar um veículo a combustão devido às limitações em termos de autonomia e carregamento de um BEV.

A distância média mensal percorrida pelos participantes no questionário é de cerca de 700km (149 respostas válidas), uma distância facilmente percorrida com cerca de duas a três cargas de um BEV moderno, como se pôde verificar anteriormente (tabela 1).

Também é importante ter o conhecimento da quantidade de viagens de média-longa distância (considerou-se + de 300km) que os participantes costumam de fazer. Espera-se que participantes que não efetuem viagens de média-longa distância com regularidade, estejam mais inclinados para adquirir um BEV.

Como se pode denotar, a maioria dos participantes (73%) efetua viagens de média-longa distância raramente (figura 9). Isto pode parecer um fator em prol dos BEV, pois, à partida, não será necessária tanta autonomia num BEV para que este satisfaça as necessidades diárias do condutor. No entanto, este fator espera-se que tenha maior influência

em pessoas que tenham acesso a dois ou mais veículos, devido à maior probabilidade de não existirem constrangimentos à substituição de um BEV por um veículo a combustão (um dos veículos a combustão pode ser mantido para viagens longas, efetuadas raramente, e o outro pode ser substituído por um BEV, para utilização mais específica, como trajetos diários casa-trabalho, aproveitando os benefícios económicos que lhe estão inerentes).

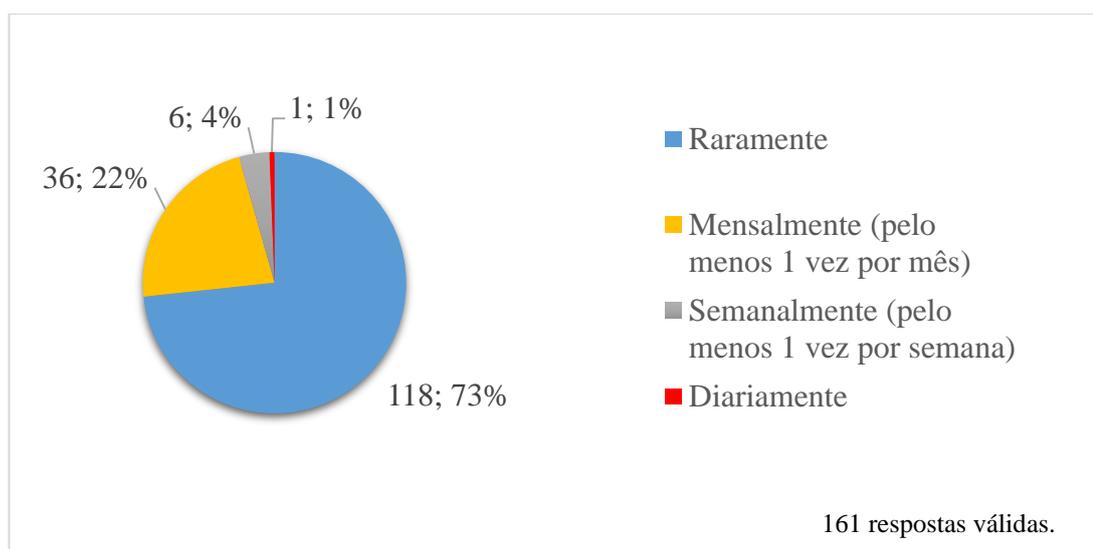


Figura 9. Frequência de viagens de mais de 300km. Fonte: Questionário a automobilistas, 2021.

O perfil do condutor permitiu apurar uma tendência nos participantes, em que utilizam o seu veículo ligeiro todos os dias para as suas deslocações pessoais, percorrem uma distância média de 700km mensais e raramente efetuam viagens de longa/média distância (mais de 300km).

8.3. – Perceção sobre BEV

O cruzamento da informação obtida no questionário visa também compreender como os participantes percecionam o BEV, se comprariam um veículo elétrico a bateria, os motivos da sua decisão, entre outros.

Primeiro, considerou-se relevante questionar os participantes se alguma vez conduziram um veículo elétrico a bateria. Dos 161 participantes, 84,5% dos participantes (136) responderam não, o que revela que a maioria dos participantes não tem experiência de condução com BEV, um fator a considerar nas respostas seguintes.

Cerca de 63% dos participantes trocariam o seu veículo por um BEV, enquanto cerca de quase um quarto (23%) não o faria. Apenas 14% revelaram algum nível de incerteza na

sua decisão (figura 10). Ou seja, à partida, pelo menos seis em cada dez inquiridos consideram os BEV aptos para a sua utilização diária.

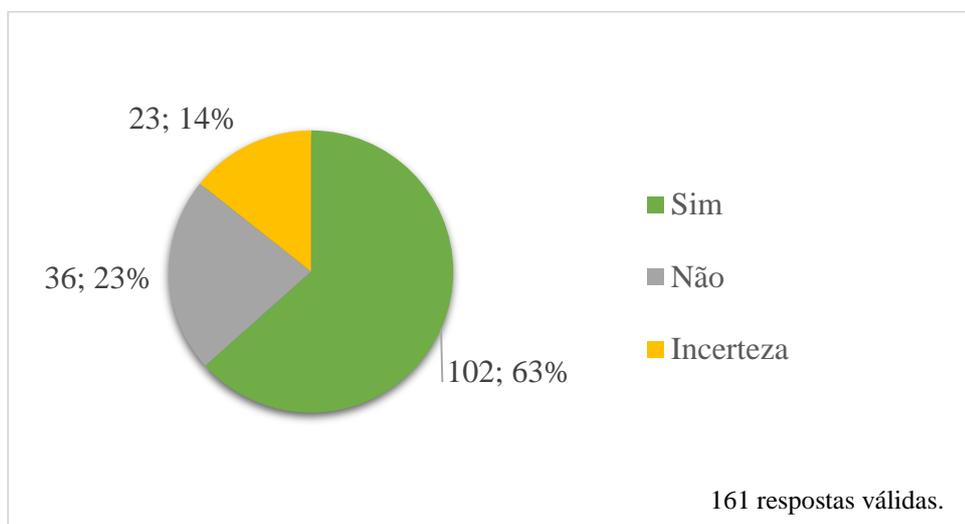


Figura 10. Resposta dos participantes à questão “Trocara o seu veículo por um veículo elétrico a bateria?”. Fonte: Questionário a automobilistas, 2021.

Quando confrontados com a pergunta “Compraria um veículo elétrico a bateria? (considerando as opções disponíveis no mercado atualmente, que conhece)”, a proporção dos que responderam afirmativamente diminuiu (55%), embora constituam ainda a maioria (figura 11).

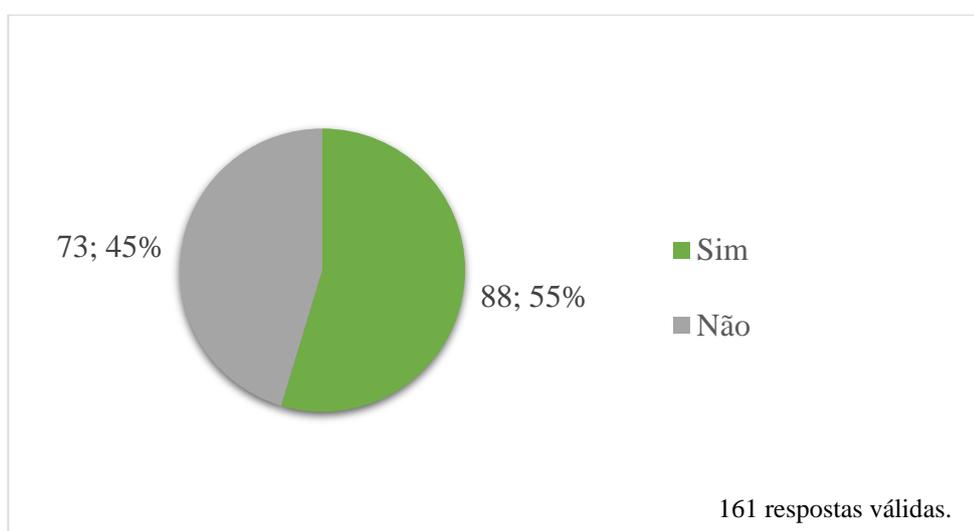


Figura 11. Resposta dos participantes à questão “Compraria um veículo elétrico a bateria?”. Fonte: Questionário a automobilistas, 2021.

O facto de haver participantes que substituiriam o seu veículo por um BEV mas não estão dispostos a comprá-lo indica que poderá haver algum obstáculo relacionado

diretamente com a aquisição do veículo. De modo a aprofundar a análise, cruzaram-se dados obtidos nas questões anteriores na tentativa de identificar algum tipo de padrão.

Notou-se que a distribuição das respostas foi diferente consoante o grupo etário. Revelou-se uma maior percentagem de respostas “sim” por parte da faixa etária mais jovem (18-29), com cerca de dois terços (66%) dos inquiridos a responderem. Por outro lado, analisando as outras faixas etárias, verifica-se uma evolução negativa, sendo que na faixa etária dos 30-50 apenas cerca de 54% dos participantes responderam “Sim”. Na faixa etária dos 51-64, a minoria passou a ser de participantes que responderam “Sim”, com 43% (figura 12). A faixa etária dos 65 e mais não foi considerada para a análise devido à amostra ser de apenas 3 participantes, tornando-a pouco relevante.

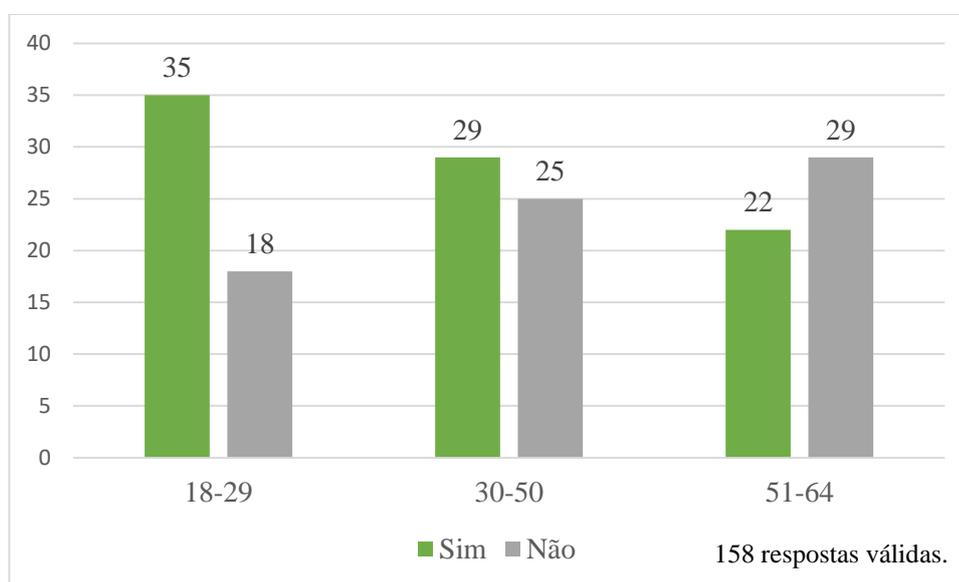


Figura 12. Resposta à questão “Compraria um veículo elétrico a bateria?”, por faixa etária. Fonte: Questionário a automobilistas, 2021.

Pode-se tentar associar esta diferença nas escolhas consoante a idade a diversos fatores. Conformidade, hábito, ou até mesmo o facto de terem experienciado ao longo da sua vida várias tentativas de expandir os BEV no mercado de veículos ligeiros sem sucesso.

Esperava-se que, ao averiguar a possibilidade de carregamentos domésticos dos participantes, o número de pessoas que compraria um veículo elétrico a bateria seria influenciado por essa possibilidade. Porém, os participantes que não têm capacidade de carregar na sua residência (apartamento s/estacionamento) demonstraram maior taxa de aceitação, cerca de 59%, do que os participantes com a maior possibilidade (vivenda c/estacionamento) 48% (figura 13).

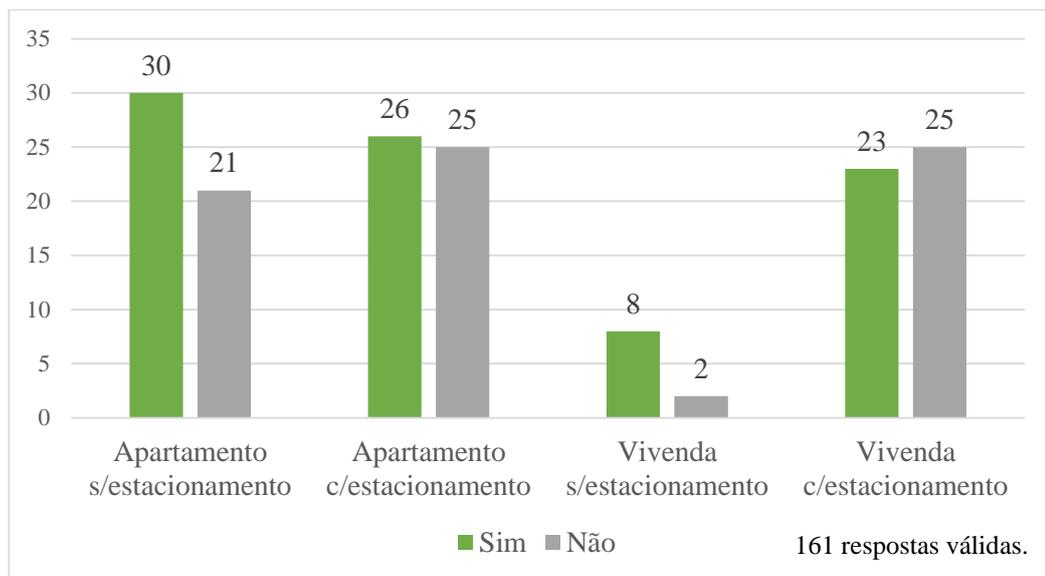


Figura 13. Resposta à questão “Compraria um veículo elétrico a bateria?” consoante tipo de residência e acesso a estacionamento privado. Fonte: Questionário a automobilistas, 2021.

Não se denotou uma ligação direta da compra de um BEV com a possibilidade de carregar o veículo em casa, com este método. Isto não significa que este fator não seja decisivo para muitas pessoas, mas sim que outros desafios se dispõem perante a análise.

Os inquiridos foram separados consoante a sua resposta à pergunta anterior de modo a compreender o porquê da sua decisão.

Para averiguar a motivação dos participantes que responderam “Não”, um conjunto de fatores (relacionados com as diferenças de utilização de BEV em relação a veículos a combustão interna) foram agrupados. Os inquiridos avaliaram cada um dos fatores, quantificando-os numa escala de 1 a 5, sobre a forma como influenciavam a sua decisão de não comprar um BEV; sendo 1 fatores que não influenciam a sua decisão e 5 os fatores que mais influenciam a sua decisão (figura 14).

Os parâmetros avaliados foram:

- 1 - Os veículos elétricos apresentam preços substancialmente superiores a veículos a combustão interna do mesmo segmento;
- 2 - Não ter estações de carregamento nas áreas onde transita;
- 3 - Não ter possibilidade de carregar o veículo no local onde estaciona diariamente;
- 4 - Não conhecer o mercado;

- 5 - Não encontrar opções de veículos usados a preços que considere favoráveis;
- 6 - Não encontrar veículos elétricos com autonomia suficiente para a sua utilização;
- 7 - Não confiar na tecnologia, ter receio que existam problemas de durabilidade e/ou segurança devido à presença recente destes produtos no mercado.

Considerou-se que, os fatores quantificados com o valor 4 ou 5, são os que representam maior influência na decisão.

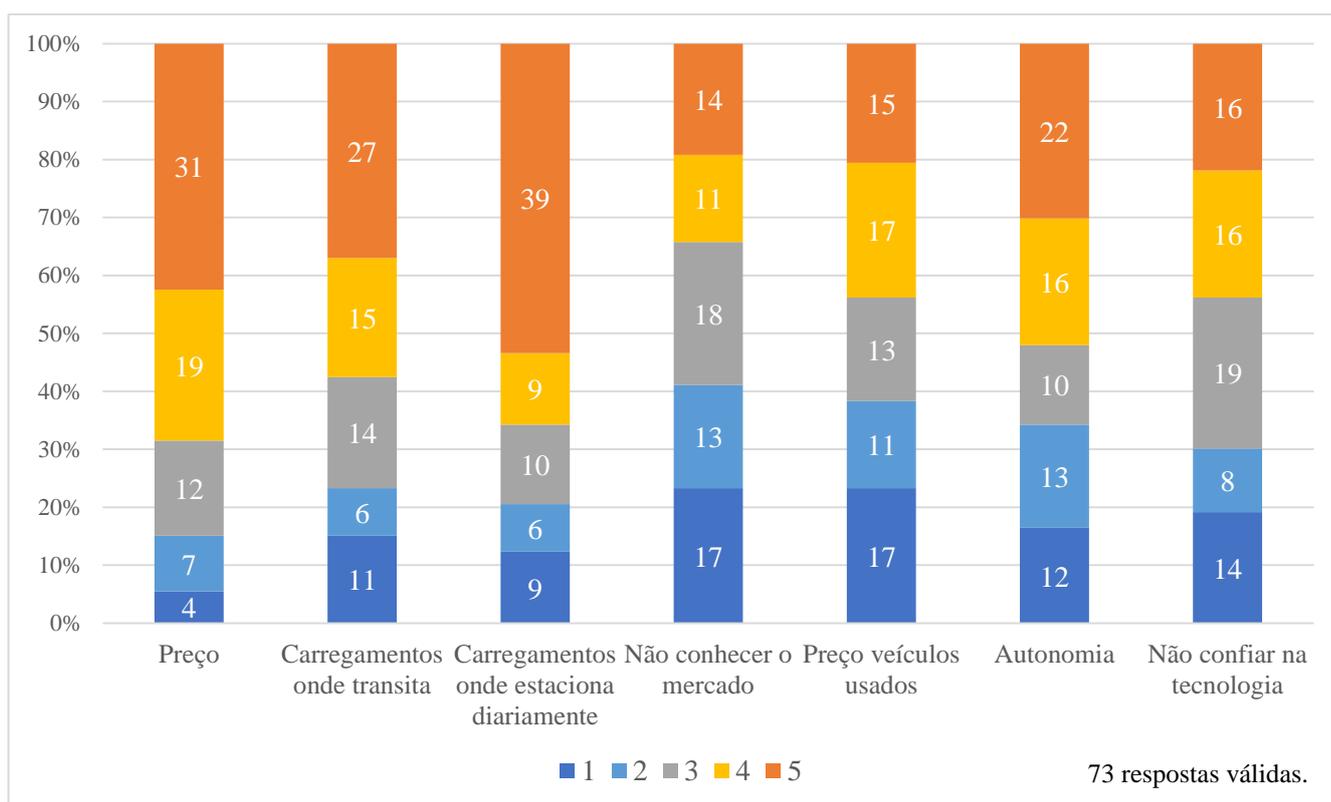


Figura 14. Motivos dos participantes não quererem comprar um BEV. Fonte: Questionário a automobilistas, 2021.

Os principais motivos que influenciam a decisão negativa dos participantes revelam-se. Os fatores “preço” (69%), “carregamentos onde transita” (58%), “carregamentos onde estaciona diariamente” (66%) e “autonomia” (52%) destacaram-se como os principais fatores, com mais de metade dos participantes a quantificarem-nos com valores de alta influência, 4 ou 5 (figura 14). Porém, com uma análise mais aprofundada, algumas incoerências foram encontradas:

1 - Verificou-se que, a distância média mensal percorrida por cerca de 21 dos 38 participantes que indicaram a “Autonomia”, se situava abaixo da média (702km), com cerca de 262km percorridos mensalmente. Destes 21 participantes, 17 efetuam viagens de longa-

média distância (300km+) “Raramente”, considerando estes valores, uma grande parte dos BEV comercializados presentemente conseguiria cobrir essa distância com apenas uma carga mensal.

Outro aspeto que estes 17 participantes revelaram foi que os carregamentos onde transitam e onde estacionam eram outras das principais razões de não quererem comprar um BEV. Com estes dados é possível que o fator “autonomia” não esteja apenas diretamente relacionado com a distância que o veículo consegue percorrer numa carga, mas também com o facto de ser pouco prático recarregar o veículo. Um veículo com uma maior autonomia talvez justificasse as deslocações a locais de carregamento e o tempo de espera para o carregar.

Outra explicação para este fator é o desconhecimento do rápido avanço tecnológico no setor. Como anteriormente se referiu, há apenas sete anos, as opções de BEV disponíveis no mercado contavam com bastante menos autonomia. Pouca autonomia, mesmo que cubra a totalidade das suas deslocações diárias, é um fator limitante dos BEV, causando o chamado “*range anxiety*” que basicamente se refere ao sentimento de ansiedade de ficar sem combustível, acentuado em BEV com pouca autonomia.

2 – Verificou-se que, uma parte substancial dos participantes (15 em 48) que optaram “carregamentos onde estaciona diariamente” residem em “vivenda c/estacionamento privado”. Isto despertou interesse porque se considerou que qualquer pessoa a viver numa vivenda com estacionamento privado não teria problemas com carregamentos domésticos.

Em procura de uma explicação para este fenómeno, entrou-se em contacto com algumas empresas de venda e instalação de carregadores para veículos elétricos, em Portugal: a EVchargers de Almada e a Galp. Ambas referiram que, desde que exista acesso à eletricidade, é possível instalar um carregador elétrico, podendo existir alguns obstáculos técnicos a resolver.

Esta situação pode relacionar-se com o desconhecimento das várias opções de carregamentos domésticos no mercado atual e da possibilidade da sua instalação. Outro fator pode ser o facto de as pessoas não serem proprietárias da habitação e o seu senhorio se opor à instalação. Este fator considera-se menos provável devido à valorização da propriedade com a instalação do carregador (Johnston, 2021).

Os participantes que responderam “Sim” à questão “Compraria um BEV?”, também foram questionados em pergunta aberta, sobre os motivos de ainda não ter adquirido um BEV (figura 15).

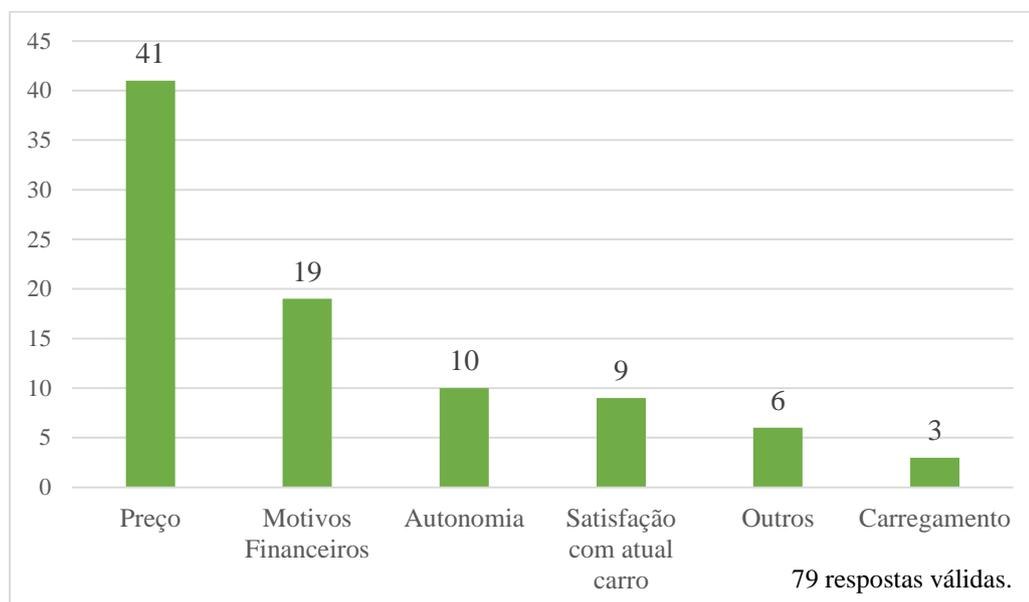


Figura 15. Motivos de participantes que comprariam um BEV ainda não terem adquirido um. Fonte: Questionário a automobilistas, 2021.

Tentou-se separar o fator preço, que se refere ao valor elevado do BEV em relação a um veículo a combustão, do fator financeiro, que se refere à situação económica do participante (incapacidade de comprar um veículo de momento).

Os resultados evidenciam que o preço de aquisição do veículo é o principal motivo que impede as pessoas que comprariam um BEV de ainda não o terem adquirido. Mais uma vez o preço é referido como o principal obstáculo à compra de um BEV (figura 15).

Considerou-se que os constrangimentos referentes à autonomia serão superados, considerando a evolução da autonomia experienciada até ao presente (2021) e projetada para os próximos 10 anos (Ding et al., 2019).

A opção “carregamento” refere-se à incapacidade de realizar carregamentos nos locais onde estaciona diariamente ou onde transita. Verifica-se que, a grande maioria dos participantes que comprariam um BEV, não referem ter problemas com o carregamento do veículo. Esta observação intensifica a importância da expansão das infraestruturas de carregamento de veículos elétricos como um dos fatores decisivos para a sua adoção.

Mas o elemento que permanece como principal obstáculo, em ambos os casos, continua a ser o “preço”. Na expectativa de este ser um dos problemas principais, os

participantes foram questionados de modo a aprofundar o conhecimento sobre este fenómeno. Questões relativas ao preço de compra dos seus veículos mais recentes e ao conhecimento dos incentivos governamentais para BEV foram aplicadas no questionário.

Verificou-se que a maior parte dos participantes comprou o seu veículo em segunda mão (figura 16), um fator que se espera ser limitante à adoção dos BEV. Por serem relativamente recentes no mercado, ainda não existe um mercado de BEV em segunda mão diversificado e acessível.

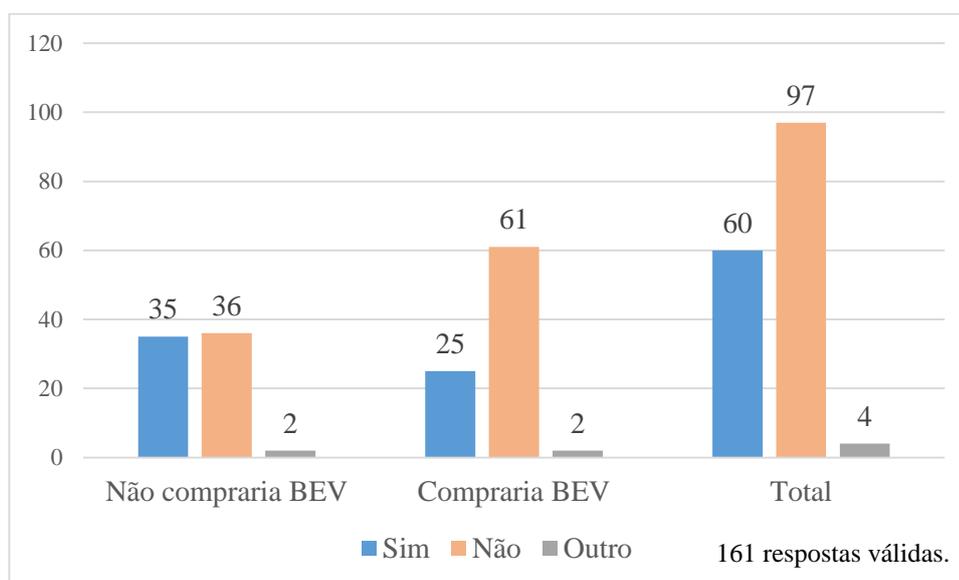


Figura 16. Resposta à questão “comprou o seu veículo em primeira mão?”. Fonte: Questionário a automobilistas, 2021.

Para além disso, averiguaram-se os preços médios de compra do veículo mais recente dos participantes. Os participantes que compraram veículo usados, revelaram preços médios de aquisição de cerca de 12 255€ (figura 17). Ao analisar várias propostas em plataformas de venda de veículos usados (OLX e Standvirtual 18 de agosto de 2021), verificou-se que, até 13 500€ (de modo a incluir também o preço médio dos participantes que não comprariam BEV), poucas opções de BEV estão disponíveis. Dessas opções, apenas se encontram BEV de primeira geração, maioritariamente os modelos Renault Zoe e Nissan Leaf, que, considerando o desgaste das baterias de grande parte, pouco mais de 100km com uma carga conseguem fazer. Os BEV de primeira geração não são uma opção prática para a maioria da população, têm pouca autonomia e performance em relação às versões mais recentes, e a veículos a combustão interna usados do mesmo preço.

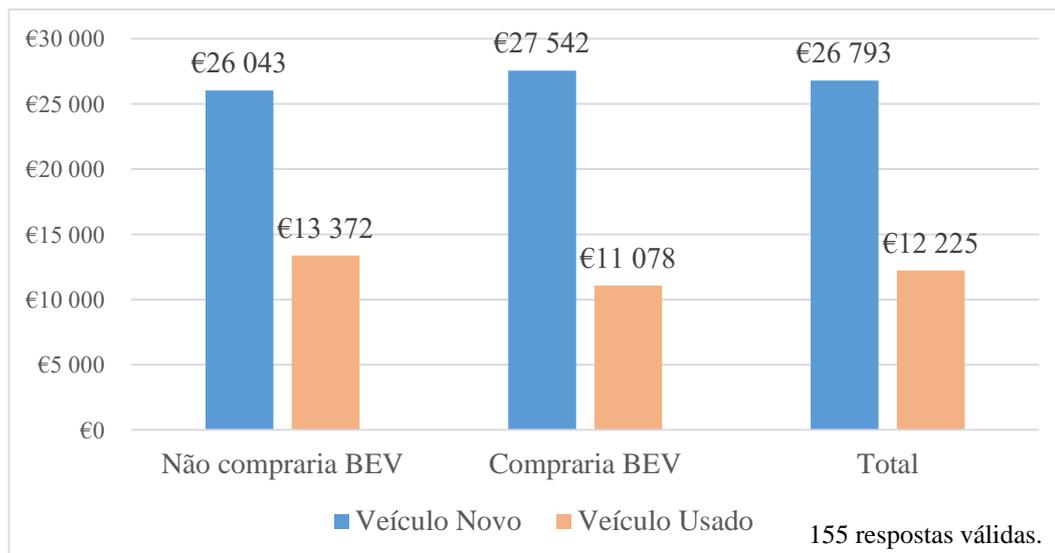


Figura 17. Preço médio de aquisição do veículo ligeiro mais recente dos participantes. Fonte: Questionário a automobilistas, 2021.

Os que compraram veículos novos admitiram preços médios de compra do seu veículo mais recente, 26 793€ (figura 17), que ainda não se inserem nos mercados de BEV novos também. Apesar de existirem opções dentro desse preço, a grande parte conta com autonomia ou performance reduzidas, sendo adequadas apenas para uso urbano. Considerando, hipoteticamente, que todos os indivíduos têm acesso ao incentivo de 3000 euros, a média já se encontra perto dos 30 000€, onde se pode encontrar algumas opções com mais de 250km de autonomia. Porém, opções com autonomias acima dos 400km encontram-se maioritariamente acima dos 40 000€, o que já demonstra uma diferença considerável.

Grande parte dos participantes (46%) não pagaria mais por um BEV em relação a um veículo a combustão. 28% estariam dispostos a pagar até 3000€ a mais (figura 18), como tal, pressupõe-se que os incentivos devem cobrir a totalidade ou grande parte da diferença de custo de aquisição entre ambos os tipos de veículo, de modo a potenciar a adoção dos BEV.

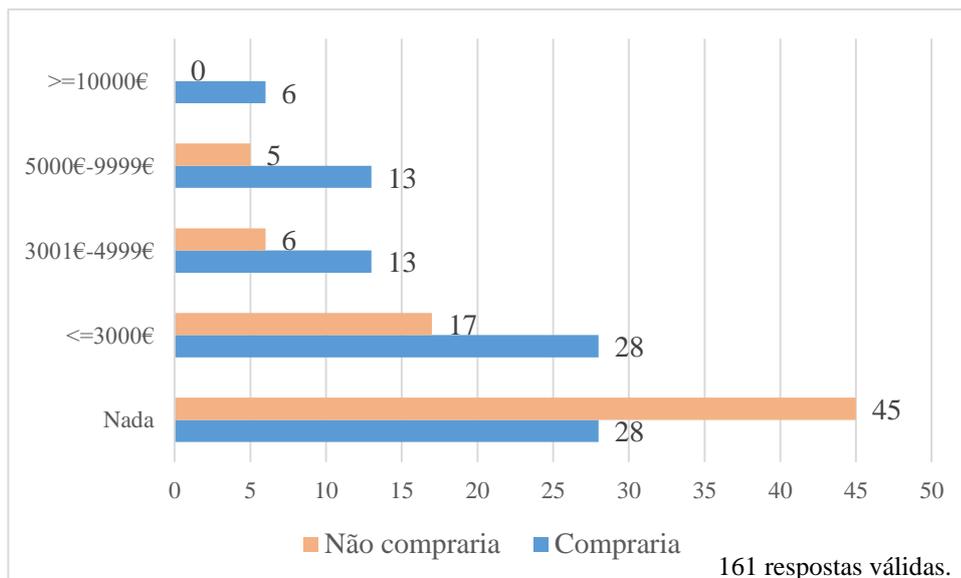


Figura 18. Valor extra que os participantes estariam dispostos a dar por um BEV em relação a um veículo a combustão. Fonte: Questionário a automobilistas, 2021.

Os incentivos têm um papel importante no equilíbrio dos custos de aquisição entre ambos os tipos de veículos. A maior parte dos participantes, 66,5%, desconhecia sobre a existência de incentivos para a compra de BEV (figura 19). Isto revela que, a informação sobre os incentivos, já considerados insuficientes em termos de disponibilidade, pode nem estar disseminada com eficácia sobre a população. Este fator enfatiza a necessidade de aumentar a disponibilidade dos incentivos.

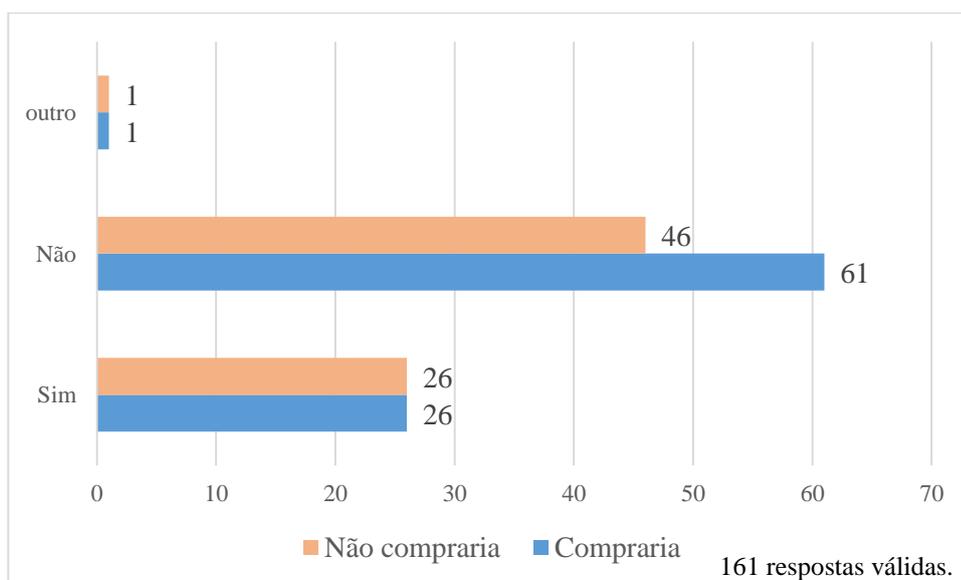


Figura 19. Resposta à questão “conhece os incentivos governamentais para BEV?”. Fonte: Questionário a automobilistas, 2021.

Nota-se que, os participantes que comprariam um BEV tendem a considerar os incentivos suficientes para a compra de um BEV (em termos de valor monetário). Pelo contrário, os participantes que não comprariam BEV, tendem a considerá-los insuficientes (figura 20).

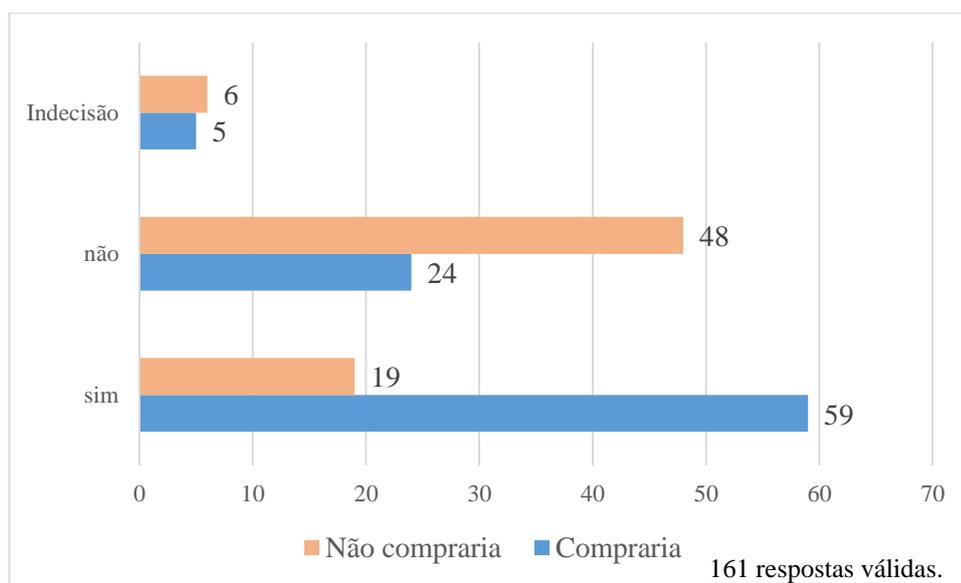


Figura 20. Resposta à questão "considera os incentivos suficientes?". Fonte: Questionário a automobilistas, 2021.

8.4. – Ponderações sobre os resultados

Com este questionário, isolaram-se os principais obstáculos à adoção dos BEV. O preço de aquisição e a acessibilidade a carregamentos para o BEV definem-se como os principais motivos que influenciam a decisão dos participantes.

Outros constrangimentos, como a autonomia e o tempo de carregamento, espera-se que sejam superados até 2030 através do avanço tecnológico. Por agora, estas características já estão suficientemente desenvolvidas para satisfazer as necessidades de muitos dos participantes. Espelhando a situação averiguada no questionário, pensamos que muitas pessoas já estão prontas para trocar o seu veículo a combustão por um BEV, o preço é o principal obstáculo à aquisição de um BEV e é um fator onde o Estado pode intervir diretamente, amenizando o problema através de incentivos.

O que já foi feito?

A nível nacional, o Governo português potencia a expansão da mobilidade elétrica com a regulamentação da organização, do acesso e do exercício das atividades de mobilidade elétrica. Como estipulado no decreto-lei nº 39/2010 de 26 de abril, alterado pela Lei nº 64-B/2011 de 30 de dezembro, pelo decreto-lei nº 170/2012 de 1 de agosto e pelo Decreto-Lei nº 90/2014 de 11 de junho, o Governo da República de Portugal atua diretamente sobre os constrangimentos associados ao acesso a carregamentos ao criar e gerir uma rede nacional de carregadores elétricos (Mobi.e) e ao garantir que todos os edifícios novos tenham postos de carregamento, e sobre os constrangimentos associados ao preço de aquisição de um veículo elétrico a bateria através da aplicação de incentivos à sua utilização.

9 – Impacto ambiental

É claro que, um parque automóvel de BEV, melhora substancialmente a qualidade do ar em aglomerados populacionais, pois os BEV não emitem GEE diretamente durante a sua utilização.

Por exemplo, na capital da Noruega, Oslo, em apenas 6 anos (2012-2018), a crescente adoção de BEV potenciou uma redução de 35% de emissões de CO₂ na cidade (programa ambiental das Nações Unidas [UNEP], 2018). A melhoria da qualidade do ar a nível local é por si só um benefício para a saúde pública.

Ainda assim, este fator pouco revela sobre o impacto ambiental de um BEV. Este é um tema relativamente complexo, e que requer uma pesquisa aprofundada, devido à quantidade de informação falaciosa disponível na internet.

No questionário, alguns participantes (6,2%) deram a sua opinião, em resposta aberta, relativamente ao impacto ambiental de um BEV. Estes referiram que os BEV são mais poluentes que um veículo a combustão interna. Considera-se que este fenómeno se associe à informação falaciosa ou desatualizada disponível na internet, pelo que, incidiu-se sobre o assunto de modo a clarificar a situação.

Se os BEV forem realmente tão ou mais poluentes que veículos a combustão interna modernos, estes não serão a opção indicada para solucionar o problema atual associado ao parque automóvel a combustão interna.

O impacto ambiental de um veículo elétrico é variável, dependendo principalmente de um conjunto de fatores que envolvem o ciclo do combustível que estes utilizam e a produção das baterias de lítio.

9.1. – Ciclo do combustível

“The energy and environmental benefits attainable from driving EVs instead of ICEVs arise from EVs’ higher energy efficiency, and the possibilities to decarbonize the electricity that powers the EVs.” (Dai et al., 2019, p.1). De facto, oportunidades ambientais do ciclo de combustível dos BEV prendem-se em dois fatores, a possibilidade de descarbonizar o ciclo do combustível e a eficiência energética dos BEV.

O ciclo do combustível define o processo desde a produção do combustível, à sua utilização no veículo.

BEV

No caso dos BEV, como se verificou anteriormente, a energia elétrica tem que ser produzida e transportada para o veículo. Neste processo perde-se energia no transporte e distribuição de eletricidade, que em Portugal, ronda os 10% (The world bank group, s.d.), mais perdas no processo de carregamento de um BEV (consideradas no ciclo WLTP).

Dependendo da fonte de produção de energia, o impacto ambiental do ciclo de combustível de um BEV varia. Por exemplo, a energia elétrica proveniente de centrais a carvão é cerca de 98 vezes mais poluente do que a energia proveniente de geradores eólicos (tabela 5).

Tabela 5. Emissões por fonte de produção de eletricidade. Extraído de Messagie, 2017, p.2.

Fonte de Energia	Carvão	Fuelóleo	Gás natural	Eólica
Emissões gCO ₂ eq/kWh	1080	855	642	11

Combustão Interna

No caso de um veículo a combustão interna, a situação é mais complexa. Os veículos a combustão interna convencionais utilizam, na sua maioria, gasolina ou gasóleo. Ambos estes combustíveis são derivados de petróleo. O petróleo é, normalmente, extraído a grandes

profundidades, cerca de 1800 metros. Para que este seja extraído, é utilizada energia nas infraestruturas de extração. Após a extração, o petróleo é transportado para centrais de refinação, passando pelos vários processos que vão originar o gasóleo e a gasolina, consumindo mais energia. Novamente, mais energia é utilizada para que esses combustíveis sejam transportados para estações de abastecimento (bombas de gasolina), onde vão ser distribuídos, para apenas cerca de 30% ser aproveitado pelos veículos (UVE, 2021b).

Os processos que garantem a disponibilidade dos combustíveis fósseis para o setor dos transportes são, muitas vezes, negligenciados nas estimativas de emissões dos veículos.

Estima-se que os processos de extração, refinação e transporte do combustível contribuam cerca de 26% (no caso da gasolina) e 28% (no caso do gasóleo) para as emissões de GEE totais do ciclo de combustível de um veículo a combustão (Knobloch et al., 2020).

O ciclo dos combustíveis fósseis também apresenta riscos ambientais relacionados com derrames nos processos de extração e transporte. Estas ocorrências, apesar de não serem comuns, têm impactos gravíssimos nos ecossistemas que atingem, como é o caso do acidente da plataforma Deepwater Horizon, no golfo do México (2010).

9.1.1. – Comparação das emissões

Tendo em conta as considerações feitas anteriormente, estimou-se as emissões do ciclo do combustível de ambos os tipos de veículo. Como base de comparação, foram utilizados os modelos da fabricante Volkswagen, Golf e ID.3.

As emissões foram separadas entre emissões WTT (*well to tank*), que se referem aos processos do ciclo do combustível desde a sua produção até chegar ao veículo, e emissões TTW (*tank to wheel*) que se referem às emissões causadas pela utilização do combustível no veículo (o que apenas se aplicam a veículos a combustão). Tendo em conta estes fatores, estimou-se as emissões do ciclo de combustível (WTT+TTW) dos diferentes tipos de veículos (figura 21).

Metodologia

Escolheram-se os modelos mais recentes dos veículos (2021), e também de 2008 (para gasóleo e gasolina apenas), na tentativa de representar as emissões de um veículo com a idade média do parque automóvel português, 12,8 anos (ACEA, 2021).

Aplicaram-se as perdas de eficiência do ciclo de combustível dos BEV (as perdas de rede elétrica de Portugal, 10%, mais o consumo WLTP do veículo), de modo a estimar a

quantidade de energia necessária por quilómetro percorrido. Depois, averiguou-se as emissões de um BEV conforme o tipo de produção energética, carvão, eólica e o *mix* de produção da rede portuguesa, em 2019 (associação portuguesa de energias renováveis [APREN], 2019). Isto de modo a tentar recriar cenários extremos de emissões (carvão, emissões elevadas, e eólica, emissões reduzidas) e o caso do veículo conduzido em Portugal.

No caso dos veículos a combustão, utilizaram-se as estimativas de emissões WLTP para os veículos mais recentes. Em relação aos veículos do ano 2008, o teste WLTP ainda não era utilizado, mas sim o teste NEDC (New European Driving Cycle). O teste NEDC é de menor credibilidade, representa uma situação de condução menos realista em relação ao teste WLTP. Para criar a estimativa, considerou-se um aumento das emissões do veículo de 15% (gasolina 1.4) e 21% (gasóleo 2.0) sobre as emissões NEDC (Fontaras et al., 2017). A esse valor, acrescentou-se cerca de 26% (gasolina) e 28% (gasóleo) para as emissões WTT dos veículos a combustão interna.

Os modelos utilizados foram:

- Golf 1.4 TSI 2008 (Referido como “Gasolina 2008”);
- Golf 2.0 TDI 2008 (referido como “Gasóleo 2008”);
- ID.3 Pro 58kWh 2021 (referido como “BEV”);
- Golf 1.0 TSI 2021 (referido como “Gasolina”);
- Golf 1.6 TDI 2021 (referido como “Gasóleo”).

As emissões de GEE foram calculadas em gramas de dióxido carbono equivalente por quilómetro percorrido.

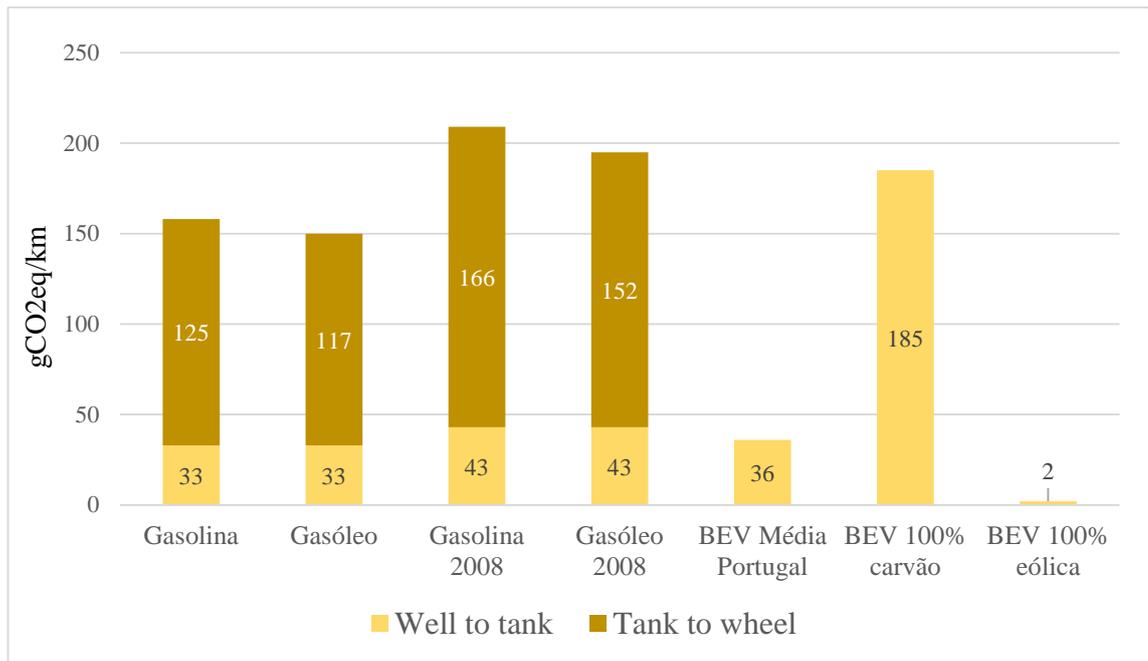


Figura 21. Emissões do ciclo de combustível de um veículo, considera as emissões de produção do combustível e da sua utilização no veículo. Elaborado com base em cálculos do autor.

Quando considerando apenas as emissões de operação, um BEV demonstra uma oportunidade realista de redução de emissões. Em relação ao mix de produção de eletricidade de Portugal, em 2019 (213 gCO₂eq/kWh), um BEV reduz as emissões de operação em cerca de 76% (gasóleo) e 77% (gasolina) quando considerados os modelos mais recentes (2021). Relativamente aos veículos de 2008, um BEV atinge reduções das emissões de operação na ordem dos 82% (gasóleo) e 83% (gasolina) (figura 21).

A fonte de produção elétrica influencia substancialmente o impacto de um BEV. Quando a energia é produzida através de centrais a carvão, as emissões de operação de um BEV são semelhantes às de um veículo a combustão de 2008. Porém se se considerar que a produção elétrica é através de fontes de energia renovável, um BEV, durante a sua utilização, tem emissões de GEE quase nulas.

Por sua vez, o mix de produção de eletricidade de Portugal assume 56% de produção de energia através de fontes de energia renovável (figura 22). Apenas 10% da energia foi produzida através de carvão, a fonte mais poluidora (tabela 5), um valor que se espera que decresça com o encerramento das centrais a carvão em Portugal até ao final de 2021 (agência Lusa, 2021), sendo que a única contribuição do carvão para o consumo de energia no país será através de energia importada.

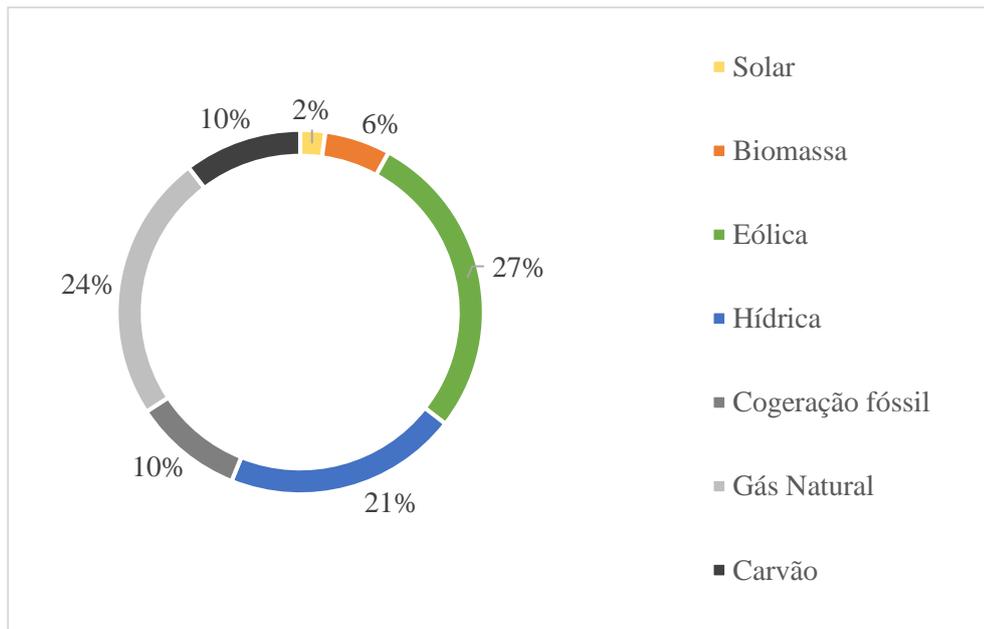


Figura 22. Produção de eletricidade em Portugal por fonte de energia, em 2019. Extraído de APREN, 2019, p.1.

A produção de eletricidade será cada vez mais limpa (roteiro para a neutralidade carbónica 2050, s.d.), o que significa que o impacto do ciclo de combustível de um BEV, em Portugal, será cada vez menor. O único possível obstáculo é se a energia importada se tornar mais poluente, uma situação pouco provável visto que a maior parte das economias mundiais está em transição para energias renováveis.

9.2. – Introdução às LIB

As baterias de iões de lítio (LIB) são o elemento mais importante no que toca à proliferação dos BEV, definindo a quantidade de energia que o veículo consegue armazenar e a velocidade máxima de carga e descarga dessa mesma energia. Isto influencia diretamente a performance, autonomia e tempos de carregamento do veículo. A bateria de lítio é também, o elemento mais caro de um BEV.

Sendo as LIB um dos elementos mais importantes num BEV, é necessário compreender como funcionam, de modo a entender o porquê de estas terem um impacto ambiental tão elevado e como reduzi-lo.

É comum utilizar o termo bateria para todos os elementos que armazenem carga elétrica, mas, para que melhor se entenda a explicação seguinte, é crucial diferenciar o termo “bateria” de “célula”.

Células

A célula (muitas vezes referida como pilha) é o objeto que armazena a eletricidade. Uma célula de íões de lítio é constituída por um ânodo (elétrodo negativo), um cátodo (elétrodo positivo), um eletrólito, um separador, dois coletores de corrente (um positivo e outro negativo) e a embalagem (figura 23).

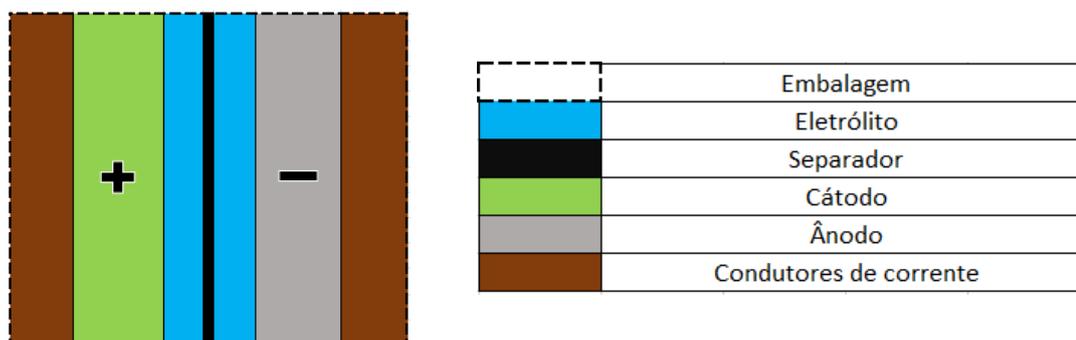


Figura 23. Composição de uma célula de uma LIB. Elaborado pelo autor com base em Kushnir, 2015; Qiao & Wei, 2012.

“A lithium-ion battery is a family of rechargeable battery types in which lithium ions move from the negative electrode to the positive electrode during discharge and back when charging.” (Qiao & Wei, 2012, p.197)

As baterias de íões de lítio armazenam e distribuem energia elétrica através da intercalação de íões de lítio entre o ânodo (elétrodo negativo) e o cátodo (elétrodo positivo). Quando a bateria se encontra descarregada, os íões de lítio (figura 24) estão inseridos no cátodo, ao aplicar-se corrente elétrica (o processo de carregamento), os íões de lítio movimentam-se para o ânodo. O separador permite que apenas os íões de lítio consigam movimentar-se através do mesmo, e o eletrólito é a solução pela qual os íões de lítio se deslocam. À medida que o veículo utiliza energia, os íões de lítio movimentam-se para o cátodo novamente.

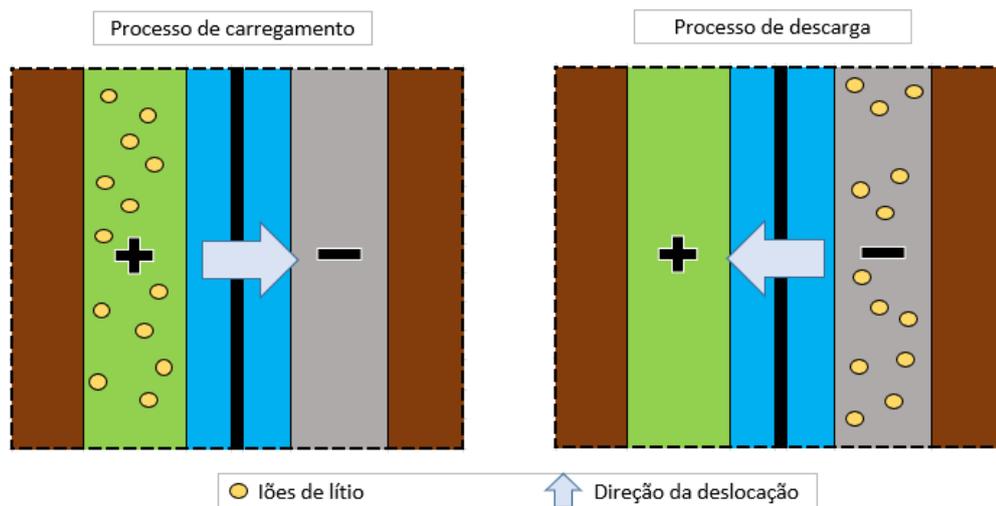


Figura 24. Processo de carga e descarga de uma célula de uma bateria de íons de lítio. Elaborado pelo autor com base em Qiao & Wei, 2012.

Existem vários tipos de LIB, dependendo da sua composição química, as suas características diferem. No caso dos BEV, os tipos mais comuns de baterias de íons de lítio são as baterias NMC (lítio, níquel, manganês e cobalto), NCA (lítio, níquel, cobalto e alumínio) e LFP (lítio e fosfato de ferro) (Ding et al., 2019). Estas designações referem-se à composição do cátodo das células.

Em Portugal, os modelos de BEV ligeiros disponíveis apresentam maioritariamente baterias NMC ou NCA, sendo que as baterias LFP são mais comuns no mercado chinês (Shanghai metals market [SMM], 2021). Baterias LMO (lítio e óxido de manganês) também foram utilizadas em veículos elétricos a bateria de primeira geração como o Nissan Leaf (Nissan motor corporation, s.d.), mas já não são relevantes nos BEV mais recentes no mercado devido à sua baixa densidade energética e durabilidade (Azevedo et al., 2018).

As baterias NMC e NCA, são as preferidas no mercado de BEV devido à sua densidade energética elevada, potenciando autonomias maiores, mas nada disto sem repercussões. Por utilizarem níquel e cobalto, estas baterias apresentam custos de produção e riscos de segurança mais elevados em relação a algumas alternativas, como as baterias LFP (tabela 6).

Tabela 6. Características dos principais tipos de LIB utilizadas em BEV. Elaborado pelo autor com base em Preger et al., 2020; EVANNEX, 2019; Yang et al., 2021; Ding et al., 2019.

Características	LFP	NMC	NCA
Densidade energética	Médio	Alto	Alto
Segurança	Alto	Baixo	Baixo
Ciclos de vida	Alto	Médio	Médio
Custo	Baixo	Alto	Alto

Os ciclos de vida, referem-se à quantidade de vezes que a bateria consegue ser carregada e descarregada (um ciclo é igual a uma carga dos 0% aos 100%) até atingir cerca de 80% da sua capacidade original. Isto porque as baterias vão-se degradando, perdendo capacidade com a sua utilização, deixando de estar aptas para se utilizarem em BEV. Uma bateria LFP conta com uma quantidade de ciclos de vida uteis bastante superior em comparação às baterias NMC ou NCA (Preger et al., 2020). Porém, a degradação de uma bateria de lítio depende de múltiplos fatores como frequência de carregamentos rápidos, frequência de carregamentos ou descargas totais (até 100% ou 0% respetivamente) e temperatura (tabela 6).

Uma bateria LFP, como por exemplo a do BYD Tang, espera-se que faça mais de 3000 ciclos até chegar a 80% da capacidade original (BYD group, 2021), enquanto um Tesla Model 3, que se pode considerar como topo da tecnologia de baterias NCA para BEV, esperam-se cerca de 1500 ciclos (EVANNEX, 2019).

Isto significa que, assumindo estes valores, num BEV com 400km de autonomia, a bateria iria chegar a 80% da capacidade original em cerca de 1 200 000km com uma bateria LFP e 600 000km com uma bateria NCA.

A bateria

Um BEV precisa de um elevado número de células, devido às exigências energéticas relacionadas com a autonomia, o peso e a potência do veículo. Estas estão, normalmente, dispostas em módulos que são conectados entre si e montados numa estrutura, formando no

seu conjunto a bateria do veículo. Para além dos módulos e cabos, a bateria contém outros sistemas relacionados com o bom funcionamento da mesma, como sistemas de controlo de temperatura e o BMS (battery management system), que controla a carga e descarga de todas as células (Kushnir, 2015).

A bateria de um BEV é o conjunto das células e dos elementos referidos anteriormente, que são dispostos numa estrutura. O peso total da bateria, dividido pela capacidade energética da mesma, definem a densidade energética gravimétrica da bateria do veículo. Dependendo do modelo de veículo e tipo de bateria, a contribuição da densidade energética das células para o total da bateria varia, tomemos como exemplo um Tesla Model 3 e um BYD Han.

Um Model 3, da fabricante Tesla, utiliza células NCA 2170 da fabricante Panasonic que contam com 247Wh/kg de densidade energética. A bateria do veículo num todo, apresenta densidades energéticas de 168Wh/kg (EVTV motors, 2018)

O modelo Han da fabricante BYD utiliza células LFP, denominadas “*blade cell*” fabricadas pela empresa. Ao nível da célula, esta conta com densidades energéticas de 165Wh/kg (Lima, 2020) e ao nível da bateria do BEV num todo, podemos encontrar densidades energéticas na ordem dos 140Wh/kg (Zhang, 2020).

O BYD Han utiliza células de lítio e fosfato de ferro, que, por serem mais estáveis e seguras, não necessitam de sistemas de controlo de temperatura e segurança tão complexos como o Tesla Model 3, que utiliza células NCA. Este fator permite uma maior eficiência na integração das células na bateria, que neste caso representam 85% do peso total da mesma. Num Model 3 por sua vez, as células apenas representam cerca de 68% do total da bateria e isto já é considerando que este modelo apresenta uma das baterias mais tecnologicamente avançadas no mercado (EVTV motors, 2018).

Portanto, num BEV, é importante verificar a densidade energética da bateria num todo e não apenas das células. Uma célula com menor densidade energética pode ainda ter aplicação viável em BEV devido a benefícios relacionados com custo e segurança.

9.3. – O impacto ambiental das LIB

A complexidade e importância do impacto ambiental das LIB tornam a sua análise indispensável para calcular a pegada carbónica entre ambos os tipos de veículo.

The lithium-ion battery value chain is complex. The production of a battery cell requires sourcing of as much as 20 different materials from around the world, which will pass through several refining stages, of which some are exclusively designed for making batteries and some are not. There after the materials are entering an advanced and energy-intensive manufacturing process with very different climate impact depending on which energy source is used. To accurately calculate the climate impact is therefore challenging. (Melin, 2019, p.2).

O impacto ambiental da produção das baterias de íons de lítio pode ser separado em dois grupos: o impacto da extração e refinação dos materiais e o impacto da produção das células e montagem da bateria.

9.3.1. – Extração e refinação dos materiais

Um BEV contém cerca de 6 vezes mais minerais do que um veículo a combustão (agência internacional da energia [IEA], 2021)

Isto deve-se, principalmente, às LIB, que contêm uma quantidade relativamente alta de metais e minerais, nomeadamente, cobre, alumínio, lítio, níquel, cobalto, manganês e grafite (quando considerando baterias NMC E NCA, as mais comuns no mercado português). Estes compõem mais de 80% da bateria, por peso (Winjobi et al., 2020).

O cobre e o alumínio são utilizados nos coletores de corrente, estrutura, conectores e BMS, sendo materiais presentes em todas as LIB de BEV, variando apenas em quantidade utilizada.

Todas as LIB têm lítio na sua composição, este é utilizado no cátodo e eletrólito, tornando-o indispensável à transição para BEV (Samsung SDI, s.d.).

“Most cells share common components in terms of the electrolyte, separator, foils and casing. What ultimately differentiates cell technologies is the material chosen for the ‘active materials’, e.g. the cathode and anode.” (Kushnir, 2015, p.8). Os materiais que diferem entre os vários tipos de LIB são, principalmente, relativos ao cátodo e ao ânodo e são os que mais contribuem para a composição da bateria (Winjobi et al., 2018). O ânodo das baterias de lítio de um BEV é, normalmente, constituído por grafite. No caso do cátodo,

este é composto por lítio e outros metais, que diferem consoante o tipo de bateria. Em relação às baterias NMC e NCA, a composição do cátodo é maioritariamente níquel, cobalto e manganês e níquel, cobalto e alumínio respetivamente.

O aumento da produção das LIB implica um acréscimo substancial da procura por lítio, níquel, cobalto e grafite. É expectável que as LIB representem a maior parte do consumo destes recursos futuramente (IEA, 2021).

É importante averiguar como é que a transição para BEV incorpora estes recursos, especificamente em relação à sua disponibilidade e ao impacto ambiental dos processos de extração e processamento dos mesmos.

Averiguaram-se, portanto, os processos de extração dos recursos que se consideram vir a ter maior impacto futuramente devido à expansão dos BEV no setor dos transportes. A extração destes recursos é normalmente efetuada à superfície (minas a céu aberto) ou em profundidade (minas subterrâneas, salmouras). Ambos apresentam impactos ambientais consideráveis, mas os métodos de extração a céu aberto representam riscos ambientais superiores porque envolvem maior destruição direta dos ecossistemas, destruição de solos e dispersão de sedimentos provenientes da exploração e da utilização de maquinaria pesada. Apesar de serem os métodos com maior impacto ambiental, devido aos custos relativamente reduzidos, os métodos de extração a céu aberto são os mais comuns na maioria dos materiais analisados (aliança mundial da lei ambiental [ELAW], 2010).

Os materiais extraídos são depois sujeitos a processos de lixiviação, onde a utilização de ácidos (como ácido sulfúrico ou ácido clorídrico), separa os materiais procurados das impurezas. A este processo estão associados riscos de infiltração desses mesmos ácidos, que podem causar danos ambientais severos (ELAW, 2010). Um exemplo de tal é o de uma mina de lítio a céu aberto em Minyak Lhagang, Tibete, China, que foi encerrada já múltiplas vezes devido a incidentes relacionados com a fuga de químicos utilizados no processo de lixiviação do lítio. Num dos mais recentes, em 2016, estes químicos infiltraram-se no rio Liqi, um curso de água a cerca de 4km da área de exploração, como consequência, várias espécies de animais que utilizavam estas águas (peixes, gado) morreram, afetando as comunidades e ecossistemas locais (Instituto para a pesquisa de energia [IER], 2020).

Metais como o alumínio, cobre e manganês já contam com níveis de produção elevados, o setor das baterias não será o principal consumidor destes recursos num futuro próximo. Porém, as LIB continuam a utilizar uma quantidade relativamente alta destes

materiais e os impactos da mineração e refinação destes estão inerentes à produção das mesmas.

O impacto da extração e refinação do alumínio é de especial referência pois é um processo de consumo intenso de energia e é um material utilizado em vários componentes da bateria (coletores de corrente, cátodo, estrutura da célula, módulos, estrutura da bateria, entre outros) (Kelly et al., 2019).

Considerou-se importante analisar especificamente os materiais que vão ser mais influenciados pela expansão do setor dos BEV, a grafite, o lítio, o níquel e o cobalto. Isto porque, sendo que a exploração destes materiais vai aumentar substancialmente, os seus impactos ambientais devem ser compreendidos. Com isto em mente, pode-se tentar evidenciar os materiais que se devem evitar/reduzir/substituir, devido ao impacto ambiental elevado das suas explorações.

Grafite

A grafite pode ser obtida de várias maneiras; no estado natural, o processo de extração da grafite é semelhante a processos de mineração convencionais (subterrâneo ou a céu aberto). Estão inerentes o mesmo tipo de impactos ambientais (contaminação por partículas, destruição de ecossistemas, etc) (Pérez & Pittron, 2020).

A grafite pode, também, ser produzida através de outras maneiras, várias fontes de carbono (como, por exemplo, os resíduos resultantes da refinação do petróleo) são viáveis para a formulação de grafite sintética, que pode também ser utilizada em LIB (Kurzweill & Brandt, 2019). De facto, cerca de 60% da grafite utilizada em LIB é sintética (Zeng et al., 2019).

A grafite sintética apresenta elevado potencial de redução de impacto ambiental, que se pode revelar futuramente através de métodos como a captura de dióxido de carbono da atmosfera para a produção de grafite (Liang et al., 2021).

Lítio

O lítio é um elemento indispensável à transição para BEV, não existindo melhores alternativas para este material, de momento. Isto porque o lítio é o metal mais leve, permitindo uma melhor relação peso/energia (instituto superior técnico [IST], 2007). É um metal relativamente abundante, mas bastante disperso, pois é um elemento extremamente

reativo. A exploração do recurso é majoritariamente efetuada em salmouras ricas em lítio e em alguns tipos de rocha.

Cerca de 71% do lítio extraído, a nível global (2020), foi para a produção de LIB (USGS, 2021). Com a expansão do setor dos BEV, espera-se que as LIB representem uma maior percentagem do consumo do recurso.

Para além dos métodos convencionais de mineração a céu aberto, outro dos principais métodos de extração de lítio é através de salmouras ricas em minerais. O processo de extração baseia-se no bombeamento de água, que passa pela salmoura rica em minerais e é posteriormente depositada em poças de evaporação. A solução permanece nas piscinas de evaporação até os outros sais cristalizarem, num processo que pode demorar até 2 anos, restando apenas uma solução rica em lítio. A este tipo de extração não estão associados muitos dos impactos ambientais dos métodos de mineração a céu aberto (dispersão de sedimentos, destruição direta de fauna e flora, utilização de maquinaria pesada). Este processo de extração tem relativamente pouco impacto ambiental, à exceção de um fator. Para se obter 1 tonelada de lítio, cerca de 2 227 000 litros de água são utilizados (IER, 2020). Isto significa que um veículo com uma bateria de 55kWh (semelhante a um Renault Zoe ou Tesla Model 3 standard), seriam utilizados cerca de 12 558 litros de água para obter o lítio para estes veículos (com base nos valores da tabela 8). A quantidade de água por si só não é um valor muito relevante; produzir 1kg de carne de vaca por exemplo, consome mais água (15400 litros) (the water footprint network, s.d.).

O problema é a sobre-exploração do recurso, as salmouras estão presentes em áreas onde a precipitação é reduzida (lagos de sal, salares), limitando a disponibilidade hídrica. A indústria extratora de lítio põe em risco a disponibilidade do recurso para a população residente nas áreas envolventes. Por exemplo, a indústria extratora de lítio no salar de Atacama, no Chile, consumiu 65% da água da região, afetando as comunidades agrícolas locais (IER, 2020).

Cobalto

O cobalto é adquirido, majoritariamente, como subproduto da mineração de cobre ou níquel, sendo que apenas uma pequena parte é proveniente de operações específicas de cobalto (Azevedo et al., 2018). É o recurso que apresenta maiores desafios à sua extração e sustentabilidade. As reservas de cobalto estão localizadas, na sua maioria, na África central,

mais especificamente na República Democrática do Congo, onde se extraiu aproximadamente 70% do cobalto a nível global, em 2020 (USGS, 2021).

O processo de extração de cobalto, como a maioria dos processos de mineração convencionais, implica a contaminação da área envolvente e linhas de água com partículas. As partículas provenientes da extração do cobalto são altamente tóxicas e nocivas para os ecossistemas e populações envolventes, tendo consequências cancerígenas (Farjana et al., 2019). A Indústria do cobalto, principalmente na República Democrática do Congo, está muitas vezes associada a problemas éticos de exploração humana e trabalho infantil. Isto ocorre nas chamadas “minas artesanais”, onde, devido às relativamente altas concentrações de cobalto nos solos, o cobalto é extraído facilmente, sem necessidade de maquinaria pesada (Buxton, 2021). Estas minas artesanais, apesar de representarem uma pequena parte do cobalto minado a nível mundial, têm condições de segurança e ecológicas precárias, potenciando riscos ambientais.

O cobalto apresenta concentrações muito reduzidas nas suas explorações, menos de 2% (e em muitos casos, menos de 1%) do minério aí extraído (Dehaine et al., 2021).

Devido a estes fatores e ao custo do cobalto, cada vez mais se tentam optar por composições das LIB com menor teor de cobalto, ou sem o recurso de todo (como é o caso das baterias LFP) (Mathieu & Mattea, 2021)

Níquel

Apesar de o uso final principal do níquel não ser em baterias, apenas 5%, em 2019 (Fraser et al., 2021), espera-se que a evolução do setor para baterias com maior teor de níquel possa impulsionar impactos substanciais, com o aumento da procura.

O níquel é um metal pesado, as suas explorações mineiras libertam partículas extremamente nocivas para os ecossistemas e populações envolventes. Tal como na situação do cobalto, a exposição humana a processos de mineração, refinação e fundição (em processos industriais) de níquel pode ter consequências cancerígenas (Das et al., 2019).

As explorações de cobalto e níquel estão muitas vezes associadas na mesma mina. Como o cobalto, os depósitos de níquel apresentam concentrações baixas, estando a maioria das explorações em áreas com concentrações abaixo dos 3% (british geological survey [BGS], 2008).

A baixa concentração destes metais agrava o impacto ambiental das suas explorações, isto porque é necessário destruir mais rocha para adquirir os materiais. A tal fator está inerente o uso de mais energia (para os processos de extração e refinação), maior destruição de ecossistemas e dispersão de partículas, do que em relação a outros metais usados nos cátodos das LIB (como alumínio ou ferro).

Os riscos ambientais variam de exploração para exploração, operações que controlem a dispersão de sedimentos, possíveis infiltrações de químicos e subprodutos tóxicos da mineração e que utilizem fontes de energia renovável, contarão com impactos ambientais inferiores.

Refinação

Após a sua extração, estes materiais têm que ser refinados para que possam ser utilizados na produção das LIB. A estes processos de refinação está inerente um elevado consumo energético. Por exemplo, a produção do “pó catódico” (traduzido de *cathode powder*), o material utilizado para a produção do cátodo, é baseada em processos de aquecimento que requerem elevadas quantidades de energia calorífica durante longos períodos de tempo (Emilsson & Dahllöf, 2019).

Estima-se que, o impacto ambiental dos processos de extração e refinação dos materiais utilizados numa LIB (associado a fatores como o consumo energético ou o consumo de água) contribua cerca de 59kg co₂eq por kWh de capacidade da bateria, considerando os métodos e materiais utilizados atualmente (Idem). Esta estimativa não contabiliza os possíveis impactos ambientais da dispersão de sedimentos tóxicos nas áreas envolventes ou as possíveis infiltrações de químicos utilizados nos processos de lixiviação.

7.3.1.1. - Disponibilidade

A questão da disponibilidade de recursos naturais é muitas vezes utilizada como argumento contra a transição para BEV. Com base nisto, decidiu-se analisar a disponibilidade dos recursos mais utilizados nas baterias dos BEV, considerando um cenário de 100% reciclagem. Em relação ao alumínio, à grafite, ao cobre e ao manganês, não existem problemas de disponibilidade (Ding et al., 2019; USGS, 2021).

É crucial saber diferenciar reservas de recursos. As reservas referem-se à quantidade de recursos extraíveis economicamente viáveis, este valor pode ser influenciado por vários

fatores como alteração dos preços ou melhoria de técnicas de extração. Os recursos referem-se à quantidade total de recursos extraíveis, este fator é importante pois revela o potencial máximo de extração, com as técnicas atuais.

Numa primeira análise, denota-se que, na última década (2010-2020), tanto as reservas como os recursos dos metais lítio e níquel aumentaram substancialmente (tabela 7).

Tabela 7. Recursos e reservas de lítio, cobalto e níquel 2010-2020. Extraído de USGS, 2011 p. 46, p. 94 e p. 108; USGS, 2021 p. 50, p. 98 e p. 112.

Recurso natural	Milhões de toneladas			
	2010		2020	
	Reservas	Recursos	Reservas	Recursos
Lítio	13	33	21	86
Cobalto	7,3	15	7,1	25
Níquel	76	130	94	300

O lítio é um metal de utilização recente na sociedade. O aumento de interesse no recurso devido à expansão do setor das LIB propulsionou a descoberta de novos depósitos e tecnologias de extração (Kushnir & Sandén, 2011).

Para estimar se a quantidade de recursos disponíveis é suficiente para suportar a transição para BEV, é crucial saber a quantidade de materiais utilizados na sua composição.

As tecnologias das baterias de lítio estão em constante evolução, diminuindo a quantidade necessária de materiais por kWh de capacidade (Mathieu & Mattea, 2021). Tendo em conta este fator, para além da quantidade de materiais utilizados na bateria de um veículo construído recentemente (NMC, NCA, em 2020), também será utilizada uma estimativa de 2030 (tabela 8).

Tabela 8. Estimativa de quantidade necessária de lítio, cobalto e níquel para uma bateria de lítio de 60kWh e 100kWh. Elaborado pelo autor com base em Mathieu & Mattea, 2021.

Recursos	Quantidade de recursos (kg)					
	kg/kWh		60kWh		100kWh	
	2020	2030	2020	2030	2020	2030
Lítio	0,1	0,05	6	3	10	5
Cobalto	0,13	0,03	7,8	1,8	13	3
Níquel	0,48	0,39	28,8	23,4	48	39

Consideraram-se duas capacidades de bateria, 60kWh (representativo de um veículo com cerca de 400km de autonomia, estilo Hyundai Kauai ou Volkswagen ID.3), semelhante à média averiguada na base de dados da evdatabase (2021) e 100kwh (representativo de um veículo com mais de 500km de autonomia, estilo Tesla Model S ou BMW IX).

Estima-se que mais de mil milhões de veículos ligeiros estão em circulação a nível mundial, presentemente. Em 2050, este número prevê-se que aumente para cerca de 3 mil milhões de veículos (Fuel Freedom Foundation, s.d.), portanto, é importante averiguar o possível consumo de recursos por parte da expansão dos BEV. A quantidade de recursos por kWh que uma LIB necessita prevê-se que decresça substancialmente (tabela 8).

Com base nestas premissas, estimou-se o consumo de lítio, cobalto e níquel de uma frota de 3 mil milhões de BEV ligeiros, considerando 100% de reciclagem destes materiais. Cruzaram-se duas variáveis, a capacidade de bateria e a redução de materiais na composição das baterias (2020-2030), na tentativa de criar cenários de consumo de recursos (tabela 9).

Tabela 9. Recursos naturais necessários para fabricar três mil milhões de BEV. Elaborado pelo autor com base nos dados da tabela 8.

Recursos	Materiais utilizados (milhões de toneladas)			
	60kWh		100kWh	
	2020	2030	2020	2030
Lítio	18	9	30	15
Cobalto	23,4	5,4	39	9
Níquel	86,4	70,2	144	117

Se não considerarmos a evolução tecnológica no setor das LIB (no âmbito da redução dos materiais utilizados por kWh de capacidade), as estimativas apontam para um consumo de cerca de 18 (60kWh) a 30 milhões de toneladas de lítio (100kWh) (tabela 9). Isto representa cerca de 20% a 35%, respetivamente, dos recursos terrestres extraíveis de lítio, descobertos até à data presente. Se se considerar a evolução tecnológica do setor das LIB, o consumo de lítio reduz-se para cerca de 10% e 17% respetivamente (tabela 7).

O cobalto, por sua vez, apresenta desafios inerentes à escassez do recurso, quando não se considera a evolução tecnológica das LIB, um parque automóvel totalmente de BEV pode necessitar de entre 23,4 (60kWh) a 39 (100kWh) milhões de toneladas de cobalto

(tabela 9). Isto é representativo de cerca de 93.6% a 156% dos recursos terrestres extraíveis de cobalto, respetivamente, tornando a utilização de cobalto em LIB insustentável a longo prazo, considerando as quantidades utilizadas presentemente. Reduções expectáveis do conteúdo de cobalto nas LIB, podem amenizar o impacto no recurso para cerca de 22% a 36% de esgotamento do recurso (tabela 7).

Em relação ao níquel, apesar de ser o recurso mais abundante dos averiguados, é também o utilizado em maior quantidade em LIB do tipo NMC e NCA. Se não se considerar a evolução da redução dos materiais, um parque de veículos ligeiros totalmente BEV consumiria cerca de 29% (60kWh, 86,4 milhões de toneladas) a 48% (100kWh) dos recursos terrestres extraíveis de níquel (tabela 9). Tendo em conta a evolução no setor das LIB, o consumo reduz-se para aproximadamente 23% e 39% respetivamente (tabela 7).

A redução de conteúdo de níquel é relativamente inferior porque se espera que as células evoluam para composições químicas com maior teor de níquel (Mathieu & Mattea, 2021).

É importante compreender que as LIB não são utilizadas apenas em BEV ligeiros. Aparelhos eletrónicos portáteis (telemóveis, drones, etc), armazenamento de energia estacionário (para energias renováveis por exemplo) e outros tipos de transporte (transportes pesados, motociclos, meios de micro transportação), também fazem parte das aplicações de LIB em crescimento.

9.2.3. – Impacto da produção das células e montagem das LIB

Para além do impacto da extração e refinação dos materiais necessários para o fabrico de uma LIB, os processos de produção das células e de montagem da bateria devem ser tidos em conta. Entre ambos, os processos de produção das células são os que têm maior contributo para o impacto ambiental desta fase (Dai et al., 2019).

As células têm de ser fabricadas em ambientes controlados, pois a presença de humidade prejudica o processo. Devido a tal, muitos processos da produção são efetuados numa sala seca (traduzido de “*dry room*”). Para manter o ambiente controlado é-se consumida uma quantidade de energia elevada (Dai et al, 2019).

É importante denotar que o impacto ambiental destes processos não tem grande variação dependendo do tipo de célula. Devido ao consumo energético elevado, o impacto ambiental é influenciado sobretudo pelo tipo de energia utilizada nos vários processos.

Estima-se que, os processos de produção e montagem das LIB contribuam cerca de 2kg a 47kg co₂eq por kWh de capacidade. O valor mais baixo é associado a uma rede de eletricidade renovável (0kgCO₂eq/kWh) e o valor mais alto associado a uma rede de eletricidade focada em combustíveis fósseis (1kgCO₂eq/kWh) (Emilsson & Dahlöf, 2019).

Com base nestes valores, se a bateria fosse produzida em Portugal, considerando as emissões do mix de produção de eletricidade de Portugal, em 2019 (213gCO₂eq/kWh), estes processos contribuiriam cerca de 10kgCO₂eq por kWh.

Claro que este valor vai ser influenciado por fatores como o tipo de energia utilizado pela operação de produção, técnicas utilizadas (nível de automatização) e clima (Dai et al, 2019). Devido às várias variáveis influenciadoras do impacto ambiental destes processos, esta estimativa é apenas hipotética.

9.2.4. – Outros elementos

9.2.4.1 – Motor elétrico

Para além da bateria, existe mais um elemento a considerar no que toca ao impacto nos recursos abióticos, os motores dos veículos. A maior parte dos veículos elétricos (BEV, HEV, FCEV) no mercado utilizam motores de ímãs permanentes (cerca de 80%) (Edmondson, 2020).

Os motores de ímãs permanentes são predominantes no mercado devido à sua maior eficiência energética e melhor relação peso/potência relativamente às alternativas.

Estes motores utilizam metais de terras raras especialmente neodímio, mas também outros como disprósio, que contam com processos de extração e refinação de impacto ambiental elevado e pouca disponibilidade de recursos (Widmer et al., 2015).

Porém, as alternativas, como motores de indução ou motores de rotor enrolado (utilizados no mercado por empresas como a Tesla ou a Renault), apresentam performances e eficiências relativamente altas, acima dos 95%. Em vez de terras raras, estas tecnologias utilizam metais mais abundantes e com menor impacto ambiental nos processos de extração e refinação (cobre e alumínio por exemplo) (Widmer et al., 2015).

Os elementos de terras raras como o neodímio são utilizados em grande quantidade para a construção de geradores eólicos. Estando o setor das energias renováveis em expansão e considerando as alternativas aos motores de imãs permanentes, a conservação do recurso para o setor da produção elétrica é a atitude mais lógica a nível ambiental (Jacobson & Delucchi, 2011).

9.2.4.2. - *Postos de carregamento*

À expansão do parque automóvel de BEV está inerente a expansão da rede de postos de carregamento, para acomodar essa expansão, serão requeridos metais como o cobre em quantidades substanciais (IDTechEx, 2017).

9.2.5. – Em síntese

É expectável uma futura exploração intensa de recursos naturais devido à transição para BEV. Espera-se que os recursos lítio, cobalto e níquel sejam os mais influenciados por esse fator. Tanto os recursos de níquel como o de lítio, se consideradas taxas de reciclagem de 100%, estão aptos, em termos de disponibilidade, para a expansão do setor dos BEV. Existem dúvidas em relação à viabilidade do recurso cobalto no setor, isto devido ao seu custo e limitações relativas à sua disponibilidade.

O níquel e o cobalto apresentam níveis de toxicidade elevados, as suas explorações representam riscos ambientais graves, com consequências que se propagam por áreas extensas. A sua substituição por materiais mais sustentáveis é importante para a redução do impacto ambiental das LIB.

O impacto dos processos de produção das células e montagem da bateria é predominantemente influenciado pelo tipo de energia utilizada para os mesmos. Estima-se que a redução do impacto ambiental destes processos acompanhe a transição da produção de energia através de fontes renováveis.

O impacto ambiental de uma LIB (impacto da extração e refinação dos recursos + impacto da produção das células e montagem da bateria) é estimado em cerca de 61kg a 106kg CO₂eq por kWh de capacidade da bateria (Emilsson & Dahlöf, 2019).

Caso as células e a bateria fossem produzidas em Portugal, de acordo com estes valores, o seu impacto seria aproximadamente 69kgCO₂eq/kWh.

9.3. – Impacto ambiental BEV vs combustão interna

Para comparar o impacto ambiental de um BEV ao de um veículo a combustão interna, é crucial ter em conta o impacto da LIB. Ao adicionar-se as emissões de dióxido de carbono equivalente da produção das baterias de lítio às do ciclo do combustível, estimou-se o impacto ambiental total de ambos os tipos de veículo.

À partida, a produção de um BEV tem maior impacto ambiental do que a produção de um veículo a combustão interna equivalente, devido à LIB (Qiao et al., 2017). É importante ter em conta que, um veículo produzido, será utilizado, e só o impacto da produção dos veículos não é um fator determinante do seu impacto ambiental total. Como tal, deve-se estimar as emissões causadas durante o seu ciclo de vida (produção e utilização até ao descarte).

Metodologia

Considerou-se uma distância percorrida de 300 mil quilómetros, na tentativa de representar o tempo de vida de um veículo a combustão interna (Budd, 2018).

Porém, as LIB e os motores elétricos nos BEV estão preparados para percorrer maiores distâncias do que a generalidade dos motores a combustão interna (Budd, 2018; Federação europeia para o transporte e ambiente [T&A], 2020).

Para calcular o impacto de ambos os tipos de veículo foram considerados os impactos do ciclo de combustível (WTT + TTW), juntamente com os impactos da produção das baterias de íões de lítio.

Não se considerou o impacto ambiental da construção do resto do veículo, mas espera-se que um BEV seja cerca de 10% mais ecológico na sua construção (sem contabilizar o impacto das LIB), tendo em conta veículos do mesmo peso (T&A, 2020).

Os modelos dos veículos utilizados como base serão os mesmos da análise do ciclo de combustível, os modelos da fabricante Volkswagen, ID.3 e Golf de 2021 e 2008. Serão tidos em conta os mesmos fatores de consumo (WLTP) e também a capacidade total da bateria do ID.3 Pro, 62kWh (58kWh utilizáveis).

Para os veículos a combustão, os modelos mais modernos representam o melhor cenário a nível ambiental enquanto os veículos de 2008 apresentam uma estimativa baseada na idade média do parque automóvel português, atualmente.

Estimaram-se três cenários para o BEV:

- 1- Portugal presente: Células e bateria produzidas com base na média de emissões de produção de eletricidade da UE-27, em 2019 (253gCO₂eq/kWh) (T&E, 2021b) e veículo conduzido em Portugal, considerando 213gCO₂eq/kWh (APREN, 2019). O objetivo deste cenário foi estimar o impacto ambiental de um BEV em Portugal, presentemente.
- 2- Fósseis intenso: Células e bateria produzidas na Polónia e veículo conduzido na Polónia, considerando 744gCO₂eq/kWh, em 2019 (T&E, 2021). Formulou-se este cenário com o intuito de averiguar o impacto de um BEV e da produção da LIB, considerando uma rede de produção energética extremamente poluente, com uma participação de combustíveis fósseis elevada. Este cenário define uma estimativa pessimista de produção da LIB e utilização do veículo, de modo a estipular uma situação de impacto ambiental alto.
- 3- Portugal futuro: Células e bateria produzidas em Portugal e veículo conduzido em Portugal considerando as emissões do setor de produção de eletricidade estimadas para 2050 (1,6gCO₂eq/kWh) (Governo da República Portuguesa et al., 2019). Este cenário pretende demonstrar as possibilidades da redução do impacto ambiental de um BEV para o futuro. Isto é importante porque demonstra o potencial de redução do impacto ambiental de um BEV com soluções existentes presentemente, que irão expandir-se a nível mundial.

Para se estimar o impacto das LIB, consideraram-se os 59kg CO₂eq por kWh de capacidade de bateria para os processos de mineração. Não se alterou este valor para a estimativa do cenário “Portugal futuro”, devido à complexidade de estimar o impacto ambiental destes processos futuramente. Porém, espera-se que com a descarbonização geral da sociedade e avanços tecnológicos no setor, o impacto destes processos seja consideravelmente inferior no futuro.

Os processos de produção das LIB variaram consoante a rede de eletricidade, assumindo valores de 2kg CO₂eq/kWh, associado à produção de células com energia 100%

renovável (Portugal futuro), a 35kgCO₂eq/kWh, referente à produção com base na rede elétrica da Polónia (Fósseis intenso) (figura 25).

Limitações:

Estas estimativas são hipotéticas visto ser mais complexo analisar o impacto ambiental dos processos de produção da LIB e utilização de um BEV especificamente. Fatores como as tecnologias utilizadas nos processos de produção, o tipo de energia utilizado ou o tipo de célula variam bastante; dois veículos com características semelhantes podem ter uma pegada de carbono muito diferente.

A utilização do ciclo WLTP para o cálculo das emissões de operação de ambos os veículos, não representa uma situação realista, onde as emissões normalmente serão maiores. Mas como método de comparação, o ciclo WLTP é relevante porque os veículos são sujeitos a condições semelhantes. Espera-se que, considerando situações de condução mais realistas, que a diferença de emissões entre ambos os tipos de veículo aumente (T&E, 2020).

A estimativa não tem em conta o impacto da reciclagem dos veículos no seu fim de vida, da manutenção e do fabrico do veículo (aparte das LIB). O conjunto destes fatores espera-se que reduza o impacto ambiental de um BEV em comparação a um veículo a combustão interna.

Também, não considera a descarbonização da rede de eletricidade ao longo do tempo de vida do veículo, um veículo comprado hoje, será progressivamente mais limpo com o passar do tempo.

Com base nisto, as estimativas apenas averiguam a possibilidade de impacto ambiental de um BEV, considerando os vários cenários, em relação a um veículo a combustão moderno e com a idade média do parque automóvel português. Espera-se representar a importância da descarbonização do setor de energia para o impacto ambiental de um BEV e uma possível estimativa do impacto de um BEV em Portugal conduzido presentemente.

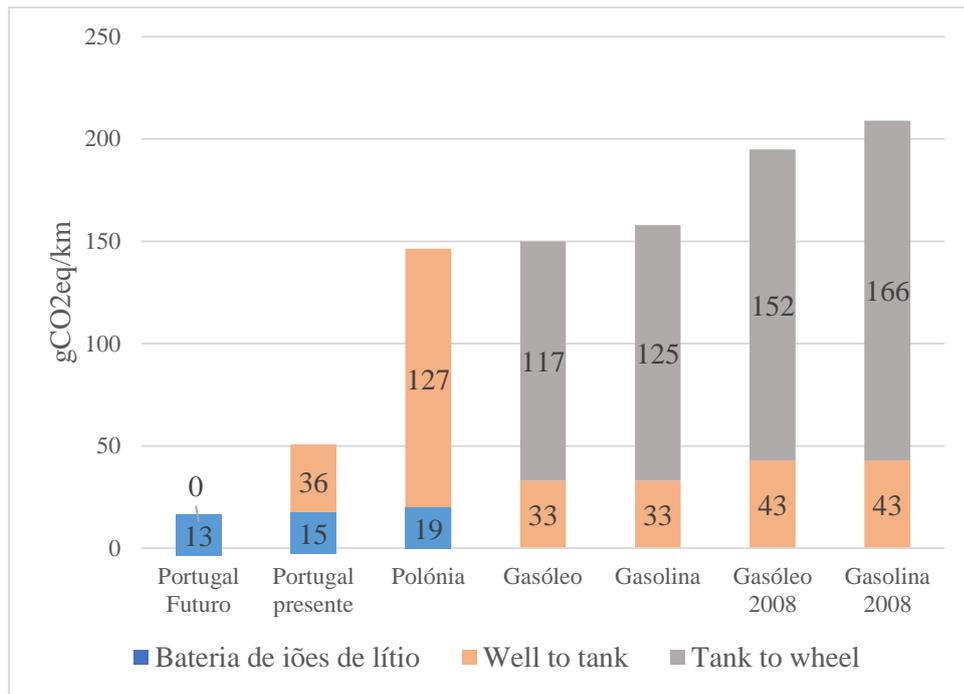


Figura 25. Emissões por tipo de veículo em Portugal. Elaborado com base em cálculos do autor.

Segundo esta análise, um BEV conduzido em Portugal, atualmente, produz menos 66% (gasóleo) a 68% (gasolina) de emissões do que veículos a combustão interna modernos durante o seu ciclo de vida. Analisando a situação atual do parque automóvel de Portugal (veículos de 2008), um BEV atinge reduções de emissões de aproximadamente 74% (gasóleo) a 76% (gasolina) (figura 25).

Averiguando uma rede focada em combustíveis fósseis (Polónia), a análise demonstra que um BEV tem um possível impacto ambiental semelhante a um veículo a combustão interna moderno. Considerando os modelos de 2008, um BEV, mesmo num cenário de emissões intenso, é cerca de 25% (gasóleo) a 30% (gasolina) menos poluente durante o seu ciclo de vida (figura 25).

Importante denotar que, apesar de a rede de produção de eletricidade da Polónia ser bastante focada em fontes não renováveis, algumas operações de produção de baterias atualmente estabelecidas no país utilizam energia elétrica de fontes 100% renováveis nas suas operações. Por exemplo, a fabricante de veículos Volkswagen tem um acordo com a fabricante de baterias LG para que esta utilize energia verde na produção das células para os seus veículos (Volkswagen AG, s.d.). O transporte destas células (ferroviário ou rodoviário) para as instalações de montagem da bateria e, posteriormente, montagem do veículo, é eletrificado e também utiliza energias renováveis (Volkswagen AG, s.d.). Estas medidas reduzem substancialmente o impacto ambiental dos BEV produzidos pela Volkswagen, que,

quando conduzidos em Portugal, deverão ter menor impacto ambiental do que a média estimada para “Portugal presente”.

Quando se visualiza um futuro descarbonizado, em Portugal, um BEV apresenta reduções de cerca de 92% (veículos modernos) a 94% (veículos 2008) (figura 25). Isto é, sem ter em conta as prováveis melhorias no setor da extração e refinação dos recursos para a produção de LIB, nem a evolução do setor das LIB (redução de matérias utilizados por kWh).

A análise sugere que, com a tecnologia existente, um BEV tem o potencial de reduzir as emissões do setor dos veículos ligeiros em mais de 90%. É crucial entender que, estas reduções de impacto vão depender da descarbonização do setor de produção de eletricidade.

Caso países com níveis de intensidade carbónica da rede de produção de eletricidade elevados (como a Polónia) não evoluam, no aspeto da expansão de fontes de energia renovável no seu *mix* de produção energética, os BEV podem não apresentar benefícios ambientais dignos da transição. Porém, o rumo, tanto em Portugal, como a nível mundial, aponta para a descarbonização do setor, como se verifica pela adoção do acordo de Paris pela grande maioria dos países existentes.

Combustíveis sintéticos, que muitos defendem que são menos poluentes do que os BEV, também não são uma solução. Apesar de diminuírem as emissões em relação aos combustíveis fósseis convencionais, são menos eficientes e necessitam de mais eletricidade para serem produzidos do que é necessário para movimentar um BEV (T&A, 2021).

A adoção de uma frota total de BEV ligeiros, em Portugal, resultaria numa redução substancial das emissões de 6,3 milhões de veículos. Considerando uma distância total percorrida de um veículo ligeiro de 300 mil quilómetros, um veículo ligeiro de 2008 (associado à média em Portugal), emitiria cerca de 47,4 (gasolina) a 45 (gasóleo) toneladas de emissões de GEE (CO₂eq) no total do seu tempo de vida. Isto significa que, assumindo uma redução de 90% das emissões (facilmente admissível em cenário descarbonizado), a transição total do parque de veículos ligeiros para BEV assumiria um corte de cerca de 268,8 milhões de toneladas a 255,5 milhões de toneladas de emissões de GEE (em CO₂eq), em Portugal.

Tendo em conta a idade média de abate de viaturas em Portugal no ano de 2020, 22,6 anos (Valorcar, 2021), esta redução é equivalente a aproximadamente 11,9 a 11,3 milhões de toneladas de GEE anualmente, em Portugal. Isto é semelhante ao carbono absorvido por

mais de 56 mil quilómetros quadrados de floresta, anualmente (United States environmental protection agency [EPA], 2021), aproximadamente a dimensão da Croácia, ou seja, mais de metade da extensão de Portugal continental.

10 – Redução do impacto ambiental

A redução do impacto ambiental de um BEV não será influenciada apenas pela diminuição direta das emissões no setor da produção energética. Espera-se que, futuramente, inúmeros fatores contribuam para uma redução ainda mais acentuada das emissões dos BEV.

10.1. – Reciclagem

De acordo com o artigo 14 da diretiva 2006/66/EC do parlamento europeu, é proibido o descarte de baterias em aterros sanitários, lixeiras ou através de incineração. As LIB estão sujeitas a taxas de reciclagem de apenas 50% (do peso total).

Uma proposta de atualização da diretiva, ainda em análise, propõe o aumento da eficiência da reciclagem de LIB para 70% (do peso total) e a eficiência de recuperação dos materiais cobalto, níquel e cobre para 95% e lítio para 70%, até 2030. Também, a proposta refere uma percentagem mínima de materiais reciclados na composição de novas baterias a partir de 2030. Com a pressão das novas propostas, e um mercado de BEV em expansão, o futuro foca-se na reciclagem das LIB (Mathieu & Mattea, 2021).

A reciclagem das baterias de íões de lítio é o fator chave à sustentabilidade dos veículos elétricos a bateria, se as LIB não forem recicladas, desafios no âmbito da disponibilidade de recursos e riscos ambientais (devido à toxicidade dos materiais na sua composição) poderão dificultar ou impossibilitar a transição para BEV. É a reciclagem total que permite atingir uma economia circular nos BEV, os materiais podem ser reaproveitados, não sendo necessário extraí-los novamente, ou pelo menos apenas em quantidades muito reduzidas.

A reciclagem das LIB pode ser feita através de um ou da combinação dos seguintes métodos:

Pirometalúrgico

Este método consiste na colocação das LIB em fornalhas a altas temperaturas. A altas temperaturas, alguns materiais perdem-se na combustão (por exemplo a grafite, plásticos,

etc). Metais como o cobre, o ferro, o cobalto e o níquel, conseguem ser reaproveitados (Element energy, 2019).

O lítio fica misturado nos resíduos do processo (juntamente com alumínio e outros materiais), este pode ainda ser aproveitado através de processos hidrometalúrgicos, mas a custos elevados, como é o caso do processo da empresa Umicore (Umicore, s.d.).

É o método mais maturo no setor e é flexível, permitindo a reciclagem de vários tipos de bateria ao mesmo tempo. Porém, apresenta limitações de eficiência energética (devido ao consumo energético intenso) e de aproveitamento dos recursos (pois perdem-se vários materiais e mesmo metais como o lítio tornam-se difíceis de reaproveitar). Devido a estes fatores, este método por si só, tem um impacto ambiental associado ao consumo energético superior ao fabrico da bateria através de materiais virgens (materiais que ainda não foram reciclados) (Element energy, 2019).

Hidrometalúrgico

Os processos de reciclagem hidrometalúrgicos baseiam-se nos princípios da lixiviação do setor mineiro. As baterias são desmanteladas e fragmentadas, depois, são utilizados ácidos para separar os materiais.

Este processo apresenta desafios inerentes à diversidade dos tipos de baterias, visto que, o processo é otimizado para composições químicas específicas, não sendo flexível à mistura de vários tipos de baterias.

Ainda assim, é possível recuperar mais de 90% dos materiais de uma bateria utilizando este método. Empresas como a Duesenfeld e a Northvolt apresentam taxas de recuperação de 92% e 95% respetivamente e conseguem reaproveitar totalmente recursos críticos como o lítio, o cobalto, o níquel e a grafite (Duesenfeld, s.d.; Northvolt, 2021). A empresa Northvolt também produz LIB e já fabricou células com materiais 100% reciclados através do seu método hidrometalúrgico, comprovando que o pode fazer em escala futuramente.

Física/mecânica

A reciclagem física (também conhecida como reciclagem mecânica) foca-se no reaproveitamento direto dos componentes da bateria. Os componentes da bateria são separados e desmantelados, elementos como o cátodo e o ânodo, podem ser reaproveitados diretamente no seu estado original (Element energy, 2019).

Este método é bastante eficiente na recuperação de materiais, mas ainda se encontra numa fase de estudo, não existindo infraestruturas de grande escala focadas neste método. Empresas, como a Accurec, focam-se neste tipo de tecnologias.

Um dos principais desafios a este método é a evolução tecnológica do setor das LIB. Uma bateria fabricada hoje e reciclada daqui a 10-20 anos, estará ultrapassada em termos tecnológicos, pelo que o aproveitamento direto dos seus elétrodos pode ser obsoleto (Element energy, 2019).

Alguns fabricantes de veículos ligeiros como a Renault e a Volkswagen, responsabilizam-se por reciclar as baterias dos seus BEV (Volkswagen AG, s.d.; Renault group, 2017).

Os processos pirometalúrgicos devem ser evitados, a não ser que ocorram melhorias da sua eficiência energética e, preferivelmente, em conjunto com outros métodos, para reaproveitar o máximo de materiais. Os métodos hidrometalúrgico e mecânico representam uma maior eficiência energética e de recuperação de materiais de uma LIB. Estes processos devem ser continuamente impulsionados para que a indústria da reciclagem esteja preparada para uma futura expansão sustentável dos BEV.

10.3. – Segunda vida

As LIB, depois de serem utilizadas em BEV, ainda contam com cerca de 70% a 80% da sua capacidade original. Isto significa que uma bateria de íões de lítio ainda poderá ser utilizada noutras aplicações como para armazenamento de energia estacionário ou veículos com menores requerimentos de performance. Empresas como a B2U, que utiliza baterias usadas do BEV Nissan Leaf para fazer sistemas de armazenamento para energia solar, oferecem uma segunda vida às LIB de BEV.

A reutilização das LIB noutros setores permite o “abatimento” da pegada de carbono da produção da bateria, antes que esta seja reciclada.

10.4. – Baterias LFP

As baterias LFP, mais comuns no mercado chinês (Xpeng, Nio, BYD, entre outros), são uma opção mais sustentável comparando com as predominantes no mercado Europeu (NMC e NCA). Isto porque, para as baterias LFP utiliza-se ferro e fósforo em vez de níquel e cobalto na composição do seu cátodo (Choi et al., 2020). “The iron precursor materials

used in LFP cathodes is more energetically efficient to mine and emits lower levels of GHGs per kg and per kWh compared with the nickel, cobalt and manganese precursors of the other cathodes ...” (Ciez & Whitacre, 2019, p. 148),

As baterias LFP, até recentemente, apresentavam densidades energéticas precárias para utilização em BEV, sendo maioritariamente aplicadas em transportes públicos ou armazenamento de energia estacionário, devido à sua elevada segurança, durabilidade e custo baixo.

Nos últimos anos, a evolução das baterias LFP apresentou progressos promissores, empresas como a BYD e a CATL, fabricam baterias LFP para BEV (como o BYD Han e o Tesla Model 3 Standard plus feito na china, respetivamente), competitivas com as NMC e NCA presentes no mercado.

Uma fabricante de LIB em específico, a Guoxuan High-tech, situa-se na frente do desenvolvimento de baterias LFP. Em 2009, as suas baterias LFP contavam com densidades energéticas na ordem dos 95Wh/kg. Em apenas 11 anos de investigação e desenvolvimento, a fabricante atingiu 210Wh/kg, um aumento de cerca de 2,2 vezes da densidade energética da célula, em par com várias células NMC (Guogong lithium battery, 2021).

Se a fabricante cumprir o seu objetivo para 2021 de 230Wh/kg, será um enorme passo para a tecnologia LFP. Considerando um rácio de integração célula-bateria de 85%, facilmente atingível com baterias LFP, uma bateria de um BEV contaria com densidades energéticas na ordem dos 196Wh/kg. Este valor supera as tecnologias NCA e NMC presentes no mercado português, até à data (Idem)

Considerando este fator e os benefícios associados aos custos, segurança e durabilidade das baterias LFP, estas podem tornar-se uma alternativa mais ecológica, substituindo as baterias NMC/NCA em vários setores do mercado. Isto reduziria o impacto ambiental de um BEV.

Várias fabricantes aperceberam-se do potencial das baterias LFP para BEV, tanto que, fabricantes como a Tesla e o grupo Volkswagen (Audi, Volkswagen, Skoda, etc) apresentaram planos para utilizar baterias LFP nos seus modelos de baixa e média gama, dedicados às massas (Tesla Inc., 2020; Volkswagen AG, 2021).

Modelos do Tesla Model 3 standard range plus, feitos na China, já estão a ser equipados com baterias LFP. A escolha de utilizar baterias LFP por vários fabricantes é um bom indício de redução do impacto ambiental dos BEV futuramente.

10.5. – Baterias sem lítio

Baterias que substituam o lítio por um material mais abundante podem ser promissoras no âmbito da redução da pressão sobre o recurso. Uma das tecnologias mais promissoras neste aspeto é a bateria de iões de sódio. Utilizando o exemplo da fabricante CATL, a maior fabricante de LIB a nível mundial, a sua nova tecnologia de baterias de iões de sódio, consegue recarregar dos 0% aos 80% em 15 minutos, não sofre tanto com temperaturas baixas como as LIB convencionais e atinge eficiências de integração superiores a 80% (semelhante a LFP, devido à sua elevada segurança) (Contemporary Amperex Technology limited [CATL], 2021).

Caso a empresa atinja os 200Wh/kg de densidade energética que planeiam para a próxima geração das células, a tecnologia estará apta para substituir algumas tecnologias atuais em BEV (CATL, 2021).

Esta tecnologia, mesmo que ainda não esteja aplicada em BEV, permite aliviar a pressão sobre os recursos necessários para a expansão do setor, permitindo práticas de extração menos intensivas devido à diversificação do setor.

Um futuro em que a tecnologia esteja pronta para BEV significará uma menor dependência de lítio, e uma redução da pegada carbónica de um BEV.

10.6. – *Car-sharing*

Serviços de *car-sharing*, onde várias pessoas utilizam o mesmo veículo, são potenciados pela expansão dos BEV. Custos de operação e manutenção inferiores e a durabilidade substancialmente superior dos BEV, propiciam a prática de tarifas mais baixas no setor e a adoção geral do conceito.

Um sistema de *car-sharing* funcional e prático pode reduzir a quantidade de veículos ligeiros na estrada, reduzindo o impacto ambiental do setor de transportes.

10.7. – Extração de recursos

Progressos tecnológicos nos processos de extração dos recursos podem influenciar a redução do impacto ambiental do setor e garantir maior segurança de disponibilidade dos mesmos.

Novas técnicas de mineração devem ser consideradas apenas se permitirem extrair uma maior quantidade de recursos e/ou se contarem com menor impacto ambiental.

10.7.1. – Lítio

No caso do lítio, o metal que se considera ser o mais importante para a transição (por ser insubstituível, de momento), várias técnicas inovadoras estão em processo de estudo para aplicações em massa, algumas já comprovadas com testes/protótipos.

Extração seletiva de lítio em minerais argilosos

Este método foi apresentado pela empresa Tesla inc., e propõe a extração de lítio de minerais argilosos. O processo baseia-se na utilização de cloreto de sódio e água para “capturar” o lítio presente nas argilas, não requer a utilização de ácidos para processos de lixiviação nem o aquecimento a altas temperaturas. Em vez disso, os materiais são misturados numa máquina giratória, onde o lítio se vai agregar ao cloreto de sódio. Depois, adiciona-se água para extrair os sais minerais do material argiloso, obtendo uma solução rica em lítio e outros elementos (Lambert, 2021).

Por não ser um método em prática atualmente, não se consegue estimar o seu impacto ambiental. A empresa refere que é um método com impacto ambiental e custo reduzidos em relação aos métodos convencionais de extração de lítio de rochas, dois fatores propícios à adoção do método. O material argiloso é extraído, submetido aos vários processos para obtenção do lítio através do cloreto de sódio e voltam a colocá-lo no local, preenchendo a área novamente (Tesla inc, 2020).

Extração nos oceanos

Os oceanos são a fonte de exploração de lítio mais promissora em termos de quantidade e redução de impacto ambiental. A quantidade de lítio presente nos oceanos é cerca de 2600 vezes superior à quantidade presente em recursos terrestres descobertos, com cerca de 230 mil milhões de toneladas de lítio (Yang et al., 2018).

O principal desafio à extração do lítio dos oceanos é a pouca concentração do recurso (Li et al., 2021), os métodos em desenvolvimento baseiam-se em processos de eletrólise ou eletrodialise para extrair o lítio da água. Com estes processos, espera-se reduzir substancialmente o impacto ambiental da extração do lítio. Também, isto permite que mais países consigam focar-se em extrair o produto. Portugal poderia aproveitar a dimensão da sua ZEE (zona económica exclusiva) e a sua localização geográfica para investir em processos ecológicos de extração de lítio deste tipo.

Num futuro em que a maior parte do lítio utilizado nas baterias seja derivado de processos de reciclagem, a extração de lítio dos oceanos pode ser um método de complemento à economia circular dos materiais. A extração através deste método, mesmo que em pouca quantidade, podia satisfazer as necessidades de material virgem, com um impacto ambiental reduzido em relação a outros tipos de explorações convencionais.

10.7.2. – Outros metais

Nódulos polimetálicos

Depósitos de outros metais críticos, como o cobalto e o níquel, podem ser encontrados em algumas áreas no fundo dos oceanos. É em planícies abissais, a profundidades de cerca de 3000 a 6000 metros, que se podem encontrar concentrações de nódulos polimetálicos economicamente viáveis para extração (International Society of Automation [ISA], s.d.). Estes nódulos, são, nada mais nada menos, que aglomerados de metais como cobre, manganês, cobalto e níquel, todos utilizados para a construção de LIB, que se sedimentaram à volta de um núcleo sólido (uma concha por exemplo) (ISA, s.d.).

Os métodos de extração não envolvem fragmentar/escavar a crosta oceânica, pois estes nódulos encontram-se desagregados da superfície oceânica, apenas precisam de ser recolhidos. Este fator propicia a sustentabilidade dos processos de extração, pois não existe tanto distúrbio dos ecossistemas com partículas e maquinaria pesada (The metals company, s.d.).

Ainda muito pouco se sabe sobre o impacto ambiental da extração destes nódulos nos ecossistemas abissais, frágeis à interação exterior, pelo que é necessário mais estudos sobre o tema. Várias áreas estão a ser averiguadas, com empresas como a “The metals company” (anteriormente conhecida como DeepGreen), a focarem-se neste tipo de extração. Com o objetivo de criar um ciclo de fornecimento de materiais para LIB mais sustentável, a empresa refere que a extração de nódulos polimetálicos e sua posterior transformação,

resultam numa redução de 75% das emissões de GEE e 99% de resíduos sólidos (the metals company, s.d.).

De preferência, excluir metais tóxicos como o níquel e o cobalto das LIB para BEV seria a melhor opção. Mas caso as tecnologias que utilizem este tipo de materiais evoluam substancialmente em relação às outras, futuramente, os nódulos polimetálicos podem assegurar a disponibilidade e sustentabilidade dos recursos.

10.8. – Veículos elétricos solares

Um BEV convencional utiliza energia armazenada na sua bateria, esta energia é maioritariamente proveniente de fontes exteriores, sendo que, uma ínfima parte é gerada pelo veículo durante a travagem.

Porém, existe potencial de gerar energia no veículo através de outros métodos. O mais promissor é a aplicação de painéis fotovoltaicos nos veículos. Fabricantes como a Aptera motors e a Sono motors, estão no processo de produção dos seus veículos elétricos solares e prometem providenciar modelos acessíveis às massas, que recarregam distâncias consideráveis apenas com energia solar (dependendo da exposição solar, elevada em Portugal). Por exemplo, a empresa Sono, anuncia que o seu modelo Sion consegue recarregar até 35km por dia, apenas através dos seus painéis solares (Sono motors, s.d.). Isto é o suficiente para cobrir grande parte ou a totalidade das deslocações diárias de muitas pessoas.

Um veículo que consiga gerar uma parte ou a totalidade da sua energia, é mais eficiente energeticamente do que um veículo equivalente que utilize a totalidade da sua energia da rede. Isto porque, a eletricidade, ao ser gerada no veículo, não sofre com perdas de energia relacionadas com o transporte e conversões de energia na rede. Para mais, sabe-se que a energia utilizada pelo veículo vai ser proveniente, pelo menos em maior parte (quando considerando BEV convencionais), de fontes de energia renovável.

11 – Conclusão

Encontraram-se respostas para as perguntas de partida sobre o contributo dos BEV para a descarbonização do setor dos transportes, em Portugal.

- Quais são os principais constrangimentos à adoção de veículos elétricos, em Portugal?

Os principais constrangimentos à adoção de BEV, em Portugal, estão relacionados principalmente com o preço de aquisição do veículo e com o acesso a carregadores. Fatores também analisados, como a autonomia e o tempo de carregamento, espera-se que estejam resolvidos num futuro próximo, devido ao avanço tecnológico rápido e expectável do setor.

Possíveis soluções para o preço de aquisição elevado dos BEV devem-se focar no âmbito da melhoria dos incentivos, para que estes estejam acessíveis em maior número, e que, de preferência, consigam cobrir a totalidade da diferença de valor entre um BEV e um veículo a combustão interna equivalente.

A expansão e diversificação da rede de carregadores públicos é crucial para garantir segurança de abastecimento para todos. Eliminando o fator “acessibilidade a carregamentos” da equação, a tarefa de expandir o parque automóvel de BEV fica mais facilitada.

Os resultados do questionário revelaram que uma boa parte dos participantes comprou o seu veículo mais recente em segunda mão. Isto expôs uma situação de compra de veículos que apenas se adequa a BEV de primeira geração (que se inserem nos preços de aquisição dos veículos dos participantes), que têm características precárias em relação a opções usadas a combustão interna. Garantir incentivos para BEV usados também seria uma boa maneira de promover a adoção dos BEV, algo que podemos ver em países como a Alemanha.

Tendo em consideração a idade média do parque automóvel de Portugal, aplicar medidas no âmbito do descarte de automóveis antigos por incentivos para a aquisição de um BEV, seria uma maneira de retirar veículos a combustão mais poluentes das estradas e incentivar a adoção de BEV.

- Será que a tecnologia já atingiu o ponto em que se tornou viável (considerando os constrangimentos à adoção dos veículos elétricos) a transição de veículos a combustão para BEV?

Em certas áreas (autonomia, tempo de carregamento, performance), os BEV já conseguem satisfazer as necessidades diárias de muitos condutores. Porém, ainda existe uma diferença substancial de praticidade entre BEV e veículos a combustão. Especialmente para quem reside em apartamentos sem acesso a estacionamento privado, ou pessoas que efetuem viagens de longa distância regularmente.

Melhorando apenas um fator, o tempo de carregamento, garantir carregamentos para toda a população seria bastante mais fácil, superando-se assim um dos obstáculos tecnológicos principais. Espera-se que ainda na década 2020-2030, através da análise da evolução tecnológica no setor, a indústria alcance tempos de carregamento reduzidos o suficiente para competir com veículos a combustão nesse aspeto.

No entanto, deve-se impulsionar a adoção de BEV o mais cedo possível, pois estes já apresentam características aceitáveis para uma parte do mercado, sendo o preço o seu principal e único impedimento, como se verificou nos resultados do questionário.

Deste modo, a transição pode ser mais gradual, justificando a expansão de operadores de carregadores públicos pelo país, pois, ao incentivar a expansão do parque automóvel de BEV, está-se a aumentar o seu mercado.

- Qual a contribuição do setor dos transportes para a pegada de carbono de Portugal?

O setor dos transportes é dos setores que mais impacto tem sobre o ambiente, em Portugal. Cerca de ¼ das emissões de GEE do país são provenientes deste setor, pelo que, é crucial alterar o paradigma atual para outro mais sustentável. Como se verifica no setor da produção de energia, com a cada vez maior inserção de energias renováveis e corte nas energias não renováveis, a descarbonização do setor dos transportes deve também encontrar alternativas sustentáveis.

A dependência do setor em combustíveis fósseis é a principal razão da insustentabilidade da situação atual. Os BEV apresentam uma oportunidade ambiental por se moverem com energia elétrica, que pode ser gerada e armazenada através de vários métodos sustentáveis.

- Que fatores influenciam o impacto ambiental de um veículo elétrico?

Um BEV não emite emissões de GEE diretas durante a sua utilização, isto porque ele não gera a energia que consome, apenas a armazena. Este fator explicita que a fonte de

energia tem forte influência no impacto ambiental de um BEV; se a energia for proveniente de fontes renováveis (como solar ou eólica), um BEV terá emissões quase nulas durante a sua utilização. No entanto, se um BEV utilizar eletricidade proveniente de fontes de energia poluentes, como carvão, o seu impacto ambiental poderá ser semelhante ao de um veículo a combustão interna.

A bateria de íons de lítio de um BEV é também um dos principais contribuidores para a pegada de carbono do veículo. Tanto que, um veículo elétrico a bateria tem maior impacto ambiental associado à sua produção, do que um veículo a combustão equivalente. O impacto ambiental das LIB vai depender de inúmeras variáveis, mas sucintamente, este vai ser influenciado pela fonte de energia utilizada nos processos de produção das células e montagem da bateria, e pelos processos de mineração.

Apesar dos processos de mineração e de produção de baterias não ocorrerem em Portugal, o seu impacto deve ser averiguado e contabilizado num todo. As emissões e outros danos causados por estes processos, independentemente de poderem ser em locais longínquos, têm repercussões ambientais a nível mundial.

Uma bateria que não utilize níquel nem cobalto (como por exemplo as LFP), o lítio seja proveniente de salmouras e todos os processos de produção e transporte até à montagem da bateria no veículo sejam efetuados com energias renováveis, terá um impacto substancialmente reduzido, quando em comparação com a situação atual, em Portugal.

Processos de reutilização e reciclagem das baterias de lítio de um BEV reduzem também o impacto ambiental de um BEV. Num futuro em que as baterias sejam produzidas maioritariamente com materiais reciclados, o impacto dos BEV será ainda menor (se considerando métodos de hidrometalúrgicos ou físicos/mecânicos), existindo a possibilidade de uma economia circular.

- Quanto reduzido é o impacto ambiental de um veículo elétrico ligeiro em relação a um veículo a combustão interna equivalente?

Tendo em conta os fatores anteriormente referidos, estimou-se o impacto do ciclo de vida de ambos os tipos de veículo. Em Portugal, um BEV reduz as emissões em cerca de 74% a 76% relativamente ao paradigma atual (parque automóvel com idade média de 13 anos), e 66% a 68% relativamente a um veículo a combustão moderno (2021), quando considerando uma distância percorrida de 300 mil quilómetros.

A diferença entre ambos os tipos de veículo é expectável que aumente com a descarbonização do setor energético, a evolução tecnológica no setor das LIB, a expansão do setor da reciclagem e a produção em massa dos BEV.

Estimou-se que, considerando as metas de descarbonização de Portugal para 2050, um BEV cujas células sejam produzidas com fontes de energia renovável, conduzido futuramente em Portugal, atinja reduções superiores a 90% em relação a veículos a combustão. Esta estimativa vai ao encontro da necessidade de redução de emissões de GEE em cerca de 80% no setor dos transportes ligeiros para atingir os objetivos do Acordo de Paris, pelo que, os BEV revelam-se uma boa oportunidade a nível ambiental.

Em síntese

Os veículos elétricos a bateria estão num processo de evolução acelerada e aceitação pública que necessita de sérios incentivos para a sua propagação, pelo menos enquanto existe uma diferença considerável de preços e praticidade em relação aos veículos a combustão interna. Em Portugal, o preço de compra de um BEV e o acesso a carregamentos, são os principais obstáculos à adoção dos BEV. O papel dos decisores políticos é fundamental para a amenização/eliminação destes constrangimentos:

- A nível global, a aplicação de objetivos e metas que visam a descarbonização das economias, a economia circular e a eficiência energética, impulsionam o investimento em meios de transporte com menor impacto ambiental, como é o caso dos veículos elétricos a bateria.
- A nível nacional, o Governo português tem vindo a aplicar esforços visando a agilização e expansão da mobilidade elétrica, principalmente através da criação, gestão e expansão da rede de carregadores pública (Mobi.e) e a incentivação da aquisição e utilização de um BEV.

Países como a Noruega e a Alemanha investiram fortemente no setor dos veículos elétricos a bateria com medidas que equalizam a diferença de preços entre ambos os tipos de veículo. Portugal, apesar de ser um país com menor poder financeiro, necessita de investir mais neste âmbito em prol de uma economia sustentável, pois os incentivos monetários diretos existentes presentemente consideram-se insuficientes. Poupanças relacionadas com o custo de operação e manutenção dos BEV podem refletir-se no estímulo da economia, devido ao aumento do poder de compra.

Fatores-chave à adoção da mobilidade elétrica, como a autonomia e tempo de carregamento estão projetados para melhorar e atingir níveis semelhantes a veículos a combustão interna num futuro próximo. O custo de aquisição dos BEV também está projetado a diminuir, com a diminuição do preço das LIB, propiciando a adoção do setor.

Vários fabricantes de veículos ligeiros, como a Mercedes, Volkswagen e Volvo já apresentaram planos para eletrificar totalmente a sua gama de produtos. Isto é um bom indício de expansão do setor dos BEV e do aumento da produção em massa, o que poderá garantir aos BEV, menor impacto ambiental e preços mais acessíveis às massas de consumidores.

Caminhos viáveis para a redução das emissões do setor dos veículos ligeiros em mais de 90% estão disponíveis com a tecnologia existente, é apenas uma questão de tempo e investimento até que a pegada carbónica do setor diminua.

É importante ter consciência dos impactos ambientais associados aos processos de extração dos recursos naturais que compõem as baterias de íões de lítio de um veículo elétrico a bateria, de modo a definir caminhos de expansão focados na sustentabilidade. Espera-se que a consciencialização destes impactos e a evolução tecnológica no setor permita uma redução do impacto ambiental das LIB, tecnologias como baterias LFP já apresentam densidades energéticas aceitáveis e são uma opção relativamente sustentável em comparação com as baterias NMC e NCA. Outras tecnologias que substituem o lítio (ex: baterias de íões de sódio), ou outros materiais (ex: lítio-enxofre ou lítio-ar) são importantes para a diversificação do setor, o que se reflete numa menor pressão sobre recursos individuais permitindo processos de extração mais sustentáveis.

Outros impactos associados ao elevado consumo energético da produção das LIB (refinação dos materiais, produção das células e montagem da bateria), serão fortemente influenciados pela transição energética global para energias renováveis, reduzindo-os.

A possibilidade de reciclar os componentes de uma bateria de íões de lítio de um BEV permite a criação de uma economia circular, porém, é importante que se impulsionem os métodos com menor impacto ambiental (hidrometalúrgicos e físicos) para que esta seja o mais sustentável possível.

Os BEV em Portugal já apresentam uma situação de melhoria a nível ambiental relativamente à situação atual e ainda propiciam vários caminhos de potencial redução do seu impacto ambiental.

Isto marca o início de uma transição para um paradigma mais sustentável. Como país, Portugal deve focar-se em acelerá-la a nível territorial, através de medidas que se foquem em equilibrar a diferença monetária de aquisição entre BEV e veículos a combustão e em continuar a impulsionar a expansão de carregadores públicos no país.

Bibliografia

Agência Europeia do Ambiente (2021a). Greenhouse gases viewer. Consultado a 2 de junho de 2021. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>.

Agência europeia do Ambiente (2021b). Greenhouse gas emission intensity of electricity generation by country. https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-9/#tab-chart_2_filters=%7B%22rowFilters%22%3A%7B%22ugeo%22%3A%5B%22EU-27%22%5D%7D%3B%22columnFilters%22%3A%7B%7D%7D

Agência internacional da energia (2020). Evolution of li-ion battery price, 1995-2019. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/evolution-of-li-ion-battery-price-1995-2019>

Agência internacional da energia (2021). The role of critical minerals in clean energy transitions. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/9d6f9b13-c478-41c6-9ffe-6a05f3ab73ef/Criticalmineralslaunchslides.pdf>

Agência Lusa (2021, janeiro, 15). Central de Sines encerra esta sexta-feira, antes do previsto devido a evolução do mercado. Observador. <https://observador.pt/2021/01/15/central-de-sines-encerra-esta-sexta-feira-antes-do-previsto-devido-a-evolucao-do-mercado/>

Agência Portuguesa do Ambiente (s.d.). Clima. Consultado a 3 de junho de 2021. <https://www.apambiente.pt/clima>.

Aliança mundial da lei ambiental (2010). Overview of mining and its Impacts. In Aliança mundial da lei ambiental (Ed.). Guidebook for evaluating mining projects EIAs (pp. 3-18). ELAW. <https://www.elaw.org/mining-eia-guidebook>

American physics society (2006). This Month in Physics History, March 20, 1800: Volta describes the Electric Battery. <https://www.aps.org/publications/apsnews/200603/history.cfm>

- Associação dos utilizadores de veículos elétricos (2021a, janeiro 11). Veículos Elétricos, Balanço das Vendas em 2020. <https://www.uve.pt/page/blueauto-01-2021-balanco-vendas-veiculos-eletricos-2020/>
- Associação de utilizadores de veículos elétricos (2021b, setembro, 15). Postos de carregamento rápido em Portugal. <https://www.uve.pt/page/postos-carregamento-rapido-portugal/>
- Associação de utilizadores de veículos elétricos (2021c, março, 20). Veículo elétrico vs combustão interna, o que polui mais? Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=ZuXgMWDC_Ck
- Associação europeia de fabricantes de automóveis (2021). Vehicles in use, Europe 2021. <https://www.acea.auto/publication/report-vehicles-in-use-europe-january-2021/>
- Associação portuguesa de energias renováveis (2019). Boletim eletricidade renovável, dezembro 2019. <https://www.apren.pt/contents/publicationsreportcarditems/boletim-energias-renovaveis-dezembro-2019-vf.pdf>
- Azevedo, M., Campagno, N., Hagenbruch, T., Hoffman, K., Lala, A., & Ramsbottom, O. (2018). Lithium and Cobalt – A tale of two commodities. McKinsey&Company. <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/metals%20and%20mining/our%20insights/lithium%20and%20cobalt%20a%20tale%20of%20two%20commodities/lithium-and-cobalt-a-tale-of-two-commodities.ashx>
- B2U storage solutions (s.d.). About B2U. <https://www.b2uco.com/about>
- Bieker, G. (2021). A global comparison of the life-cycle greenhouse gas emissions of combustion engine and electric passenger cars. https://theicct.org/sites/default/files/publications/Global-LCA-passenger-cars-jul2021_0.pdf?fbclid=IwAR00S1_c1HsMO_RxomT0CHdgzo8NCTVLPvOH0ODWfyJEtZU_2JuDw7nM24M
- BloombergNEF & Federação europeia para o transporte e o ambiente (2021). Hitting the EV inflection point. https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/08/2021_05_05_Electric_vehicle_price_parity_and_adoption_in_Europe_Final.pdf

- Boudway, I. (2020, dezembro 16). Batteries for electric cars speed toward a tipping point. BloombergNEF. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-12-16/electric-cars-are-about-to-be-as-cheap-as-gas-powered-models>
- British geological survey (2008). Mineral profiles: Nickel. Minerals UK centre for sustainable mineral development. <https://www2.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/mineralProfiles.html>
- Budd, K. (2018, novembro, 1). How today's cars are built to last. AARP. <https://www.aarp.org/auto/trends-lifestyle/info-2018/how-long-do-cars-last.html>
- Buekers J., Van Holderbeke M., Bierkens J., & Panis L. (2014). Health and environmental benefits related to electric vehicle introduction in the EU countries. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 33, 26-38. doi.org/10.1016/j.trd.2014.09.002.
- Buxton, A. (2021, setembro, 29). Mining cobalt better. Instituto internacional para o ambiente e desenvolvimento. <https://www.iiied.org/mining-cobalt-better>
- BYD group (2021, março, 16). BYD blade battery set to revolutionise EV market. <https://www.bydeurope.com/article/354>
- Choi, H., Lim, N., Lee, S. J., & Park, J. (2020). Feasibility study for sustainable use of lithium-ion batteries considering different positive electrode active materials under various driving cycles by using cell to electric vehicle (EV) simulation. *Sustainability*, 12 (22). doi.org/10.3390/su12229764
- Ciez, R. E., & Whitacre, J. F. (2019). Examining different recycling processes for lithium-ion batteries. *Nature sustainability*, 2, 148-156. doi.org/10.1038/s41893-019-0222-5
- Comissão Europeia (s.d.). Paris Agreement. Consultado a 4 de junho de 2021. https://ec.europa.eu/clima/eu-action/international-action-climate-change/climate-negotiations/paris-agreement_en.
- Contemporary amperex technology limited (2021, julho, 29). CATL unveils its latest breakthrough technology by releasing its first generation of sodium-ion batteries. <https://www.catl.com/en/news/665.html>
- Dai, Q., Kelly, J. C., Gaines, L., & Wang, M. (2019). Life cycle analysis of lithium-ion batteries for automotive applications. *Batteries*, 5 (2), 48. doi.org/10.3390/batteries5020048

- Daimler (s.d.). 1885-1886. The first automobile. <https://www.daimler.com/company/tradition/company-history/1885-1886.html>.
- Das, K., Reddy, R., Bagoji, I., Das, S., Bagali, S., Mullur, L., Khodnapur, J., & Biradar, M. (2019). Primary concept of nickel toxicity – an overview. *Journal of basic and clinical physiology and pharmacology*, 30(2), 141-152. doi.org/10.1515/jbcpp-2017-0171
- Dehaine, Q., Tijsseling, L. T., Glass, H. J., Törmänen, T., & Butcher, A. R. (2021). Geometallurgy of cobalt ores: A review. *Minerals engineering*, 160, 1-28. doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106656
- Delucchi, M., Yang, C., Burke, A., Ogden, J., Kurani, K., Kessler, J. & Sperling, D. (2014). An assessment of electric vehicles: technology, infrastructure requirements, greenhouse-gas emissions, petroleum use, material use, lifetime cost, consumer acceptance and policy initiatives. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 372 (2006). doi.org/10.1098/rsta.2012.0325
- Ding, Y., Cano, Z. P., Yu, A., Lu, J., & Chen, Z. (2019). Automotive Li-ion batteries: Current status and future perspectives. *Electrochemical Energy Reviews*, 2(1), 1-28. doi.org/10.1007/s41918-018-0022-z
- Doll, S. (2021, agosto, 30). GAC-Aion unveils 480kW fast charger, well below previously rumored 600kW. *Electrek*. <https://electrek.co/2021/08/30/gac-aion-unveils-480-kw-fast-charger-well-below-previously-rumored-600-kw/>
- Duesenfeld (s.d.). Ecofriendly recycling of lithium-ion batteries. https://www.duesenfeld.com/recycling_en.html
- Edmondson, J. (2020, novembro, 2). Will rare-earths be eliminated in electric vehicle motors? *IDTechEx*. <https://www.idtechex.com/en/research-article/will-rare-earths-be-eliminated-in-electric-vehicle-motors/21972>
- EDP (s.d.). O que é a opção horária e qual a melhor para mim?. <https://www.edp.pt/particulares/apoio-cliente/perguntas-frequentes/pt/contratos/novo-contrato/o-que-e-a-opcao-horaria-e-qual-a-melhor-para-mim/faq-4823/>
- Electric vehicle database (2020a). Renault zoe ze50 r110. <https://ev-database.org/car/1164/Renault-Zoe-ZE50-R110>

Electric vehicle database (2020b). Tesla model 3 standard range plus. <https://ev-database.org/car/1485/Tesla-Model-3-Standard-Range-Plus>

Electric vehicle database (2020c). Nissan leaf e+. <https://ev-database.org/car/1144/Nissan-Leaf-eplus#charging>

Electric vehicle database (2021, setembro, 13). Useable battery capacity of full electric vehicles. <https://ev-database.org/cheatsheet/useable-battery-capacity-electric-car>

Element energy (2019). Batteries on wheels: The role of battery electric cars in the EU power system and beyond. Federação europeia para o transporte e ambiente. Batteries on wheels: the role of battery electric cars in the EU power system and beyond - Campaigning for cleaner transport in Europe | Transport & Environment (transportenvironment.org)

Emilsson, E., & Dahllöf, L. (2019). Lithium-ion vehicle battery production – status 2019 on energy use, CO2 emissions, use of metals, products environmental footprint, and recycling. Swedish environmental research institute. <https://www.ivl.se/english/ivl/publications/publications/lithium-ion-vehicle-battery-production----status-2019-on-energy-use-co2-emissions-use-of-metals-products-environmental-footprint-and-recycling.html>

Entidade reguladora dos serviços energéticos (2021). Tarifas e proveitos da entidade gestora da rede de mobilidade elétrica para 2021. <https://www.mobie.pt/documents/42032/96389/tarifas-e-proveitos-egme-2021.pdf/0a5d8f93-760c-5799-6c2b-32bc20c04f07?version=1.0&t=1620053594657>

Eurostat (2019a). Distribution of population by degree of urbanisation, dwelling type and income group – EU-SILC survey. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ILC_LVHO01__custom_1396976/default/table?lang=en

Eurostat (2019b). Electricity prices for household consumers – Bi-annual data (from 2007 onwards). https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_PC_204__custom_951755/default/table?lang=en

- EVANNEX (2019, outubro, 9). Tesla model 3 with 50,000 miles: Battery degradation? InsideEVs. <https://insideevs.com/news/375459/tesla-model-3-50k-miles-battery-degradation/>
- EVTV motors (2018, maio, 13). Tesla model 3 battery removal and disassembly. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=PvCOcBynlq0&t=4s>
- Farjana, S. H., Nazmul, H., & Mahmud, P. M. A. (2019). Life cycle assessment of cobalto extraction process. *Journal of sustainable mining*, 18(3), 150-161. doi.org/10.1016/j.jsm.2019.03.002
- Federação europeia para o transporte e ambiente (2020). How clean are electric vehicles? T&E's analysis of electric car lifecycle CO2 emissions. <https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2020/04/TEs-EV-life-cycle-analysis-LCA.pdf>
- Federação europeia para o transporte e ambiente (2021). E-fools: Why e-fuels in cars make no economic or environmental sense. https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/2021_Efuels_in_cars_briefing.pdf
- Federação Internacional do Automóvel (2021, abril, 21). FIA announces groundbreaking electric GT category. <https://www.fia.com/news/fia-announces-groundbreaking-electric-gt-category>
- Fontaras, G., Tsiakmakis, S., Pavlovic, J., Anagnostopoulos, K., Ciuffo, B., & Cubito, C. (2017). From NEDC to WLTP: Effect on the type-approval CO2 emissions of light-duty vehicles. Serviço das publicações da União Europeia. [doi/10.2760/35344](https://doi.org/10.2760/35344)
- Fraser, J., Anderson, J., Lazuen, J., Lu, Y., Heathman, O., Brewster, N., Bedder, J., & Masson, O. (2021). Study on future demand and supply security of nickel for electric vehicle batteries. Serviço das publicações da união europeia, 1-132. [doi/10.2760/212807](https://doi.org/10.2760/212807)
- Fuel Freedom Foundation (s.d.). What cars will we be driving in 2050? <https://www.fueelfreedom.org/cars-in-2050/#toggle-id-1>
- GAC motors (2021, janeiro, 28). GAC Group achieves breakthrough in graphene-based fast-charging battery technology, vehicle model Aion V equipped with the new battery to start production in September. <https://www.gac-motor.com/en/media/newsdetail/id/166.html>

- Gaogong lithium battery (2021, janeiro, 9). Guoxuan high-tech conference: Integration with the public to accelerate new breakthroughs in LFP technology. <https://www.gg-lb.com/art-42082.html>
- Governo da República Portuguesa (2021a, setembro, 20). Agosto com recorde de 145 mil carregamentos na rede de mobilidade elétrica. <https://www.portugal.gov.pt/pt/gc22/comunicacao/noticia?i=agosto-com-recorde-de-145-mil-carregamentos-na-rede-de-mobilidade-eletrica>
- Governo da República Portuguesa, (2021b). Incentivo pela introdução no consumo de veículos de baixas emissões (2021). Fundo ambiental. <https://www.fundoambiental.pt/avisos-2021/mitigacao-das-alteracoes-climaticas/incentivo-pela-introducao-no-consumo-de-veiculos-de-baixas-emissoes-2021.aspx>
- Governo da república portuguesa, fundo ambiental, & agência portuguesa do ambiente (2019). Estratégia de longo prazo para a neutralidade carbónica da economia portuguesa em 2050. Roteiro para a neutralidade carbónica 2050. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/RNC2050_EN_PT%20Long%20Term%20Strategy.pdf
- Guarnieri, M. (2012). Looking back to electric cars [Conference session]. Third IEEE history of electro-technology conference (HISTELCON), Pavia, Itália. doi.org/10.1109/HISTELCON.2012.6487583
- Hyundai Portugal (2021, outubro, 17). Manutenção de carros elétricos: Tudo o que precisa de saber. Blue Academy. <https://blueacademy.hyundai.pt/artigo/manutencao-carros-eletricos/>
- Iclodean, C., Varga, B., Burnete, N., Cimerdean, D., & Jurchis, B. (2017). Comparison of Different Battery Types for Electric Vehicles. IOP conference series: Materials science and engineering. 252. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/252/1/012058>
- IDTechEx (2017). Copper intensity in the electrification of transport and the integration of energy storage. The copper development association. <https://copperalliance.org/resource/copper-intensity-in-the-electrification-of-transport-and-the-integration-of-energy-storage/>

- International society of automation (s.d.). Polymetallic nodules.
<https://isa.org.jm/files/files/documents/eng7.pdf>
- Instituto Nacional de Estatística (2020). Parque automóvel de Portugal, por tipo de veículo e tipo de combustível, em 2020.
https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&contecto=pi&indOcorrCod=0007244&selTab=tab0.
- Instituto para a pesquisa de energia (2020, novembro, 12). The environmental impact of lithium batteries. https://www.instituteforenergyresearch.org/renewable/the-environmental-impact-of-lithium-batteries/?__cf_chl_captcha_tk__=pmd_e0fd3d43140ca120fc47cf8061c200a4976c adf5-1626997585-0-gqNtZGzNAVijcnBszTOO&__cf_chl_tk=QpNtOWXWHM3xXYbBv9xkHlzSKyi.jdDggKa1iRJSUqc-1636827200-0-gaNycGzNWCUCU
- Instituto superior técnico (2007, novembro, 14). Lítio. E-escola, instituto superior técnico.
<http://e-escola.tecnico.ulisboa.pt/topico.asp?id=410#player>
- Jacobson, M., & Delucchi, M. (2011). Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part 1: Technologies, energie resources, quantities and areas of infrastructure, and materials. *Energy Policy*, 39(3), 1154-1169. doi.org/10.1016/j.enpol.2010.11.040
- Johnston, B. (2021, junho, 4). Does your EV charger affect your house price? Rivervale leasing. <https://www.rivervaleleasing.co.uk/blog/posts/does-your-ev-charger-affect-your-house-price>
- Karlsruhe Institute of Tecnology (s.d.). The invention of the electric motor 1800-1854.
<https://www.eti.kit.edu/english/1376.php>
- Kelly, J. C., Dai, Q., & Wang, M. (2020). Globally regional life cycle analysis of automotive lithium-ion nickel manganese cobalt batteries. Mitigation and adaptation strategies for global change, 25(1), 371-396. doi.org/10.1007/s11027-019-09869-2
- Kettell, S. (2020, janeiro, 31). Oil crisis. Enciclopédia Britannica.
<https://www.britannica.com/topic/oil-crisis>
- Knobloch, F., Hanssen, S. V., Lam, A., Pollitt, H., Salas, P., Chewprecha, U., Huijbregts, M. A. J., & Mercure, J. (2020). Net emission reductions from electric cars and heat

- pumps in 59 world regions over time. *Nature Sustainability*, 3, 437-447. doi.org/10.1038/s41893-020-0488-7
- König, A., Nicolleti, L., Schröder, D., Wolff, S., Waclaw, A., & Lienkamp, M. (2021). An overview of parameter and cost for battery electric vehicles. *World Electr. Veh. J.* 2021, 12(1), 21. doi.org/10.3390/wevj12010021
- Kurzweil, P. (2010). Gaston Planté and his invention of the lead-acid battery- The genesis of the first practical rechargeable battery. *Journal of Power Sources*, 195(4), 4424-4434. doi.org/10.1016/j.jpowsour.2009.12.126
- Kurzweill, P., & Brandt, K. (2019). Overview of rechargeable lithium battery systems. In Garcke, J., & Brandt, K. (Eds.). *Electrochemical power sources: Fundamentals, systems and applications*, (pp. 47-82). Elsevier. doi.org/10.1016/B978-0-444-63777-2.00003-7
- Kushnir, D. (2015). Lithium ion battery recycling technology 2015: Current state and future prospects. Universidade Chalmers, Göteborg, Suécia. [Lithium Ion Battery Recycling Technology 2015 \(chalmers.se\)](https://www.chalmers.se/en/Research/Research%20Publications/2015/Lithium%20ion%20battery%20recycling%20technology%202015)
- Kushnir, D., & Sandén, B. A. (2011). The time dimension and lithium resource constraints for electric vehicles. *Resources policy*, 37 (1), 93-103. doi.org/10.1016/j.resourpol.2011.11.003
- Lambert, F. (2021, julho, 9). Tesla patent reveals Elon Musk's 'table salt' lithium extraction process that could slash costs. *Electrek*. <https://electrek.co/2021/07/09/tesla-patent-reveals-elon-musk-table-salt-lithium-extraction-process/>
- Li, Z., Li, C., Liu, X., Li, C., Li, P., Wei, R., Li, X., Guo, D., Huang, K., & Lai, Z. (2021). Continuous electrical pumping membrane process for seawater lithium mining. *Energy and environmental science*, 14 (5), 3152-3159. doi.org/10.1039/D1EE00354B
- Liang, C., Chen, Y., Wu, M., Wang, K., Zhang, W., Gan, Y., Huang, H., Chen, J., Xia, Y., Zhang, J., Zheng, S., & Pan, H. (2021). Green synthesis of graphite from CO₂ without graphitization process of amorphous carbon. *Nature communications*, 12(119), 1-9. doi.org/10.1038/s41467-020-20380-0

- Lima, P. (2020, maio, 26). BYD blade prismatic cell specs and possibilities (update). PushEVs. <https://pushevs.com/2020/05/26/byd-blade-prismatic-battery-cell-specs-possibilities/>
- Lopes, D. (2013) Determinação de Fatores de Emissão de Gases de Exaustão de Veículos [Master's thesis, Universidade de Aveiro]. Repositório Institucional da Universidade de Aveiro. <https://ria.ua.pt/handle/10773/11406>.
- Mathieu, L., Mattea, C. (2021). From dirty oil to clean batteries. Federação europeia para o transporte e ambiente. https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/2021_02_Battery_raw_materials_report_final.pdf
- Meirinho, F. (2019). Relatório sobre combustíveis simples 2019. Entidade nacional para o setor energético. <https://www.ense-epe.pt/wp-content/uploads/2020/05/Relatorio-sobre-Combustiveis-Simples-2019.pdf>
- Melin, H. E. (2019). Analysis of the climate impact of lithium-ion batteries and how to measure it. Federação Europeia para o transporte e ambiente. https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/2019_11_Analysis_CO2_footprint_lithium-ion_batteries.pdf
- Messagie, M. (2017). Life cycle analysis of the climate impact of electric vehicles. Federação europeia para o transporte e ambiente. <https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/TE%20-%20draft%20report%20v04.pdf>
- Morimoto, M. (2015). Which is the First Electric Vehicle, 192(2), 31-38. doi.org/10.1002/ej.22550
- Nabais, R., & Rendo, F. (2019, outubro, 16). Condomínio e carro elétrico: Resposta às 6 dúvidas mais frequentes. Deco Proteste. <https://www.deco.proteste.pt/casa-energia/condominio/noticias/condominio-e-carro-eletrico-resposta-as-6-duvidas-mais-frequentes>
- Nissan motor corporation (s.d.). Electric vehicle lithium-ion battery. https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/li_ion_ev.html

- Northvolt (2021, novembro, 12). Northvolt produces first fully recycled battery cell – looks towards establishing 125,000 ton/year giga recycling plant. <https://northvolt.com/articles/recycled-battery/>
- Odyssee-Mure (s.d.). Change in distance travelled by car. <https://www.odyssee-mure.eu/publications/efficiency-by-sector/transport/distance-travelled-by-car.html>
- Offer, G., Howey, D., Contestabile, M., Clague, R., & Brandon, N. (2009). Comparative analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system. *Energy Policy*, 38(1), 24-29. DOI:10.1016/j.enpol.2009.08.040
- Onstad, E. (2019, maio, 13). Exclusive: Bosch goes for platinum-light fuel cells. Reuters. <https://www.reuters.com/article/us-platinum-week-bosch-fuelcells-exclusive/idUSKCN1SJ0FG>
- Organização do Prémio Nobel (2019). Press release: The Nobel Prize in Chemistry 2019. <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2019/press-release/>
- Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (2021). Climate change 2021: The physical science basis. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.
- Petrofac (s.d.). The difference between green hydrogen and blue hydrogen. <https://www.petrofac.com/media/stories-and-opinion/the-difference-between-green-hydrogen-and-blue-hydrogen/>.
- Preger, Y., Barkholtz, H. M., Fresquez, A., Campbell, D. L., Juba, B. W., Romàn-Kustas, J., Ferreira, S. R., & Chalamala, B. (2020). Degradation of commercial lithium-ion cells as a function of chemistry and cycling conditions. *Journal of the electrochemical society*, 167(12). doi.org/10.1149/1945-7111/abae37
- PRF Gas Solutions (s.d.). A PRF Gas Solutions apresentou o posto DRHYVE: Um posto portátil de abastecimento de Hidrogénio, o 1º em Portugal. <https://www.prf.pt/pt/303/a-prf-gas-solutions-apresentou-o-posto-drhyve-um-posto-portatil-de-abastecimento-de-hidrogenio-o-1-em-portugal>.
- Programa ambiental das Nações Unidas (2018, outubro, 22). Oslo takes bold steps to reduce air pollution, improve livability. <https://www.unep.org/news-and-stories/story/oslo-takes-bold-steps-reduce-air-pollution-improve-livability>

- Qiao, H., Wei, Q. (2012). Functional nanofibers in lithium-ion batteries. In Woodhead publishing series in textiles (Ed.). Functional nanofibers and their applications, (pp. 197-208). Woodhead publishing. doi.org/10.1016/j.susmat.2015.02.001
- Qiao, Q., Zhao, F., Liu, Z., Jian, Z., & Hao, H. (2017). Comparative Study on life cycle CO2 emissions from the production of electric and conventional vehicles in China. Energy procedia, 105, 3584-3595. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.827
- Renault group (2017, março, 21). Renault optimizes the lifecycle of its electric vehicle batteries. <https://www.renaultgroup.com/en/news-on-air/news/renault-optimizes-the-lifecycle-of-its-electric-vehicle-batteries/>
- Ritchie, H., & Roser, M. (2020). CO2 and Greenhouse Gas Emissions. Ourworldindata. <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>.
- Roteiro para a neutralidade carbónica 2050 (s.d.). O impacte da economia circular. <https://descarbonizar2050.apambiente.pt/roteiro/economia-circular/>
- Samsung SDI (s.d.). Technology: The four components of a Li-ion battery. <https://www.samsungsdi.com/column/technology/detail/55272.html?pageIndex=1&idx=55272&brdCode=001&listType=list&searchKeyword=>
- Sánchez, H. (2021, março, 1). Hidrogénio? Não, Obrigado! 41ª edição da revista Blueauto. Reproduzida online em https://issuu.com/blueauto/docs/ba_41.
- Sealy, C. (2008). The problem with platinum. 11(12), 65-68. doi.org/10.1016/S1369-7021(08)70254-2
- Shanghai metals market (2021, outubro, 20). The installed capacity of LFP battery exceeded that of ternary battery for three consecutive months. <https://news.metal.com/newscontent/101625773/The-Installed-Capacity-of-LFP-Battery-Exceeded-That-of-Ternary-Battery-for-Three-Consecutive-Months/>
- Silva, A., & Fernandes, P. (2020). Acordo de Paris 2015-2020. https://www.dgeg.gov.pt/media/trmlmz2b/acordo_paris_05_final_a-a4.pdf
- Silva, B. (2021, agosto, 1). Estes são os carregadores ultrarrápidos para elétricos de norte a sul. Capital verde, ECO. <https://eco.sapo.pt/2021/08/01/estes-sao-os-carregadores-ultrarrapidos-para-eletricos-de-norte-a-sul-veja-o-mapa/>

Silva, R. (2021, julho, 27). Hidrogénio verde. Tecnologia “pioneira” é portuguesa e cabe “na cabe na palma da mão”. Rádio Renascença. <https://rr.sapo.pt/noticia/economia/2021/07/27/hidrogenio-verde-tecnologia-pioneira-e-portuguesa-e-cabe-na-palma-da-mao/247688/>.

Sono motors (s.d.). Sion. <https://sonomotors.com/en/sion/>

Tesla Inc. (2020, setembro, 22). Tesla battery day. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=l6T9xIeZTds>

The metals company (s.d.). Nodules. <https://metals.co/nodules/>

The Wallbox team, (s.d.). The ultimate guide to EV incentives in Germany. Wallbox blog. <https://blog.wallbox.com/ev-incentives-germany/>

The water footprint network (s.d.). Product gallery – Beef. <https://waterfootprint.org/en/resources/interactive-tools/product-gallery/>

The world bank group (s.d.). Electric power transmission and distribution losses (% of output) – Portugal. <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.LOSS.ZS?locations=PT>

Umicore (s.d.). Battery recycling. <https://csm.umicore.com/en/battery-recycling/our-recycling-process/>

United States environmental protection agency (2021). Greenhouse gas equivalencies calculator. <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator>

United States geological survey (2011). Mineral commodity summaries 2011: U.S. geological survey, 1-198. doi.org/10.3133/mineral2011

United States Geological Survey (2021). Mineral commodity summaries 2021: U.S. Geological Survey, 0-200. doi.org/10.3133/mcs2021

Valorcar (2021, fevereiro, 3). Rede valorcar recicla mais de 85 mil VFV em 2020. <https://www.valorcar.pt/pt/novidades/37/rede-valorcar-recicla-mais-de-85-mil-vfv-em-2020>

Volkswagen AG (2019, novembro, 7). Hydrogen or battery? A clear case, until further notice. <https://www.volkswagenag.com/en/news/stories/2019/08/hydrogen-or-battery--that-is-the-question.html>

- Volkswagen AG (s.d.). Guided tour. <https://www.volkswagen-planet-better.com/en/guided-tours-brands/guided-tour-vw-01.html#>
- Volkswagen AG (2021, março, 15). Power day presentation. <https://www.youtube.com/watch?v=UQZ8KmCItF8>
- Yang, S., Zhang, F., Ding, H., He, P., & Zhou, H. (2018). Lithium metal extraction from seawater. *Joule*, 2 (9), 1648-1651. doi.org/10.1016/j.joule.2018.07.006
- Yang, X., Liu, T., & Wang, C. (2021). Thermally modulated lithium iron phosphate batteries for mass-market electric vehicles. *Nature energy*, 6, 176-185. doi.org/10.1038/S41560-020-00757-7
- Widmer, J. D., Martin, R., & Kimiabeigi, M. (2015). Electric vehicle traction motors without rare earth magnets. *Sustainable materials and technologies*, 3, 7-13. doi.org/10.1016/j.susmat.2015.02.001
- Winjobi, O., Dai, Q., & Kelly, J. C. (2020). Update of bill-of-materials and cathode chemistry addition for lithium-ion batteries in the GREET Model. Energy systems, Argonne National Laboratory. Argonne GREET Publication : Update of Bill-of-Materials and Cathode chemistry addition for Lithium-ion Batteries in the GREET® Model (anl.gov)
- Zeng, X., Li, M., Deia, A. E., Alshitari, W., Al-Bogami, A. S., Lu, J., & Amine, K. (2019). Commercialization of lithium battery technologies for electric vehicles. *Advanced Energy Materials*, 9 (27), 1-25. doi.org/10.1002/aenm.201900161
- Zhang, P. (2020, fevereiro, 17). Is the energy density BYD's 'blade battery' lower than competitors? CnTechPost. <https://cntechpost.com/2020/02/17/is-the-energy-density-byds-blade-battery-lower-than-competitors/>

Legislação

- Conselho de Ministros (2020, outubro, 29). Estratégia Portugal 2030. Agenda 3. <https://www.portugal.gov.pt/download-ficheiros/ficheiro.aspx?v=%3D%3DBQAAAB%2BLCAAAAAAABAAzNDC3NAUABiRb0wUAAAA%3D>
- Decreto-Lei n.º 170/2012 do Ministério da Economia e do Emprego (2012, agosto, 1). Diário da República n.º 148/2012. <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/170-2012-179069>
- Diretiva 2006/66/CE do Parlamento Europeu e do Conselho (2006, setembro, 6). Jornal Oficial da União Europeia L266/1. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:32006L0066>
- Decreto-Lei n.º 39/2010 do Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento (2010, abril, 26). Diário da República n.º 80/2010. <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/39-2010-614137>
- Decreto-Lei n.º 90/2014 do Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia (2014, junho, 11). Diário da República n.º 111/2014. <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/90-2014-25676885>
- Lei n.º 64-B/2011 da Assembleia da República (2011, dezembro, 30). Diário da República n.º 250/2011. <https://dre.pt/dre/detalhe/lei/64-b-2011-243769>
- Regulamento (EU) 2021/1119 do Parlamento Europeu e do Conselho (2021, junho, 30). Estabelecer o quadro para atingir neutralidade climática e alterar os regulamentos (EC) N.º 401/2009 e (EU) 2018/1999 (“Lei Europeia do Clima”). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32021R1119>

Índice de tabelas

Tabela 1. Autonomia e tempo de carregamento dos três modelos de BEV mais vendidos em Portugal no ano de 2020. Página 21.

Tabela 2. Comparação de preço entre BEV e veículos a combustão equivalentes. Página 25.

Tabela 3. Preços médios anuais, em euros, da venda de combustíveis fósseis ao público em 2019. Página 30.

Tabela 4. Estimativa de custos médios de combustível consoante tipos de combustível e métodos de carregamento (no caso dos BEV), para uma distância média anual percorrida de 12000km. Página 31.

Tabela 5. Emissões por fonte de produção de eletricidade. Página 50.

Tabela 6. Características dos principais tipos de LIB utilizadas em BEV. Página 57.

Tabela 7. Recursos e reservas de lítio, cobalto e níquel 2010-2020. Página 65.

Tabela 8. Estimativa de quantidade necessária de lítio, cobalto e níquel para uma bateria de lítio de 60kWh e 100kWh. Página 65.

Tabela 9. Recursos naturais necessários para fabricar três mil milhões de BEV. Página 66.

Índice de figuras

- Figura 1.** - Emissões de GEE (CO₂/eq), por setor, em Portugal, 2019. Página 6.
- Figura 2.** Evolução do parque BEV em Portugal 2010-2020. Página 8.
- Figura 3.** Eficiência energética do ciclo de combustível de FCEV e BEV. Página 16.
- Figura 4.** Evolução do preço médio de LIB para BEV (€/kWh) 2010-2020. Página 26.
- Figura 5.** Idade dos participantes. Página. 34.
- Figura 6.** Tipo de habitação dos participantes. Página 35.
- Figura 7.** Tipo de utilização do veículo ligeiro dos participantes. Página 36.
- Figura 8.** Frequência de utilização do veículo ligeiro dos participantes. Página 36.
- Figura 9.** Frequência de viagens de mais de 300km. Página 38.
- Figura 10.** Resposta dos participantes à questão “Trocaria o seu veículo por um veículo elétrico a bateria?”. Página 39.
- Figura 11.** Resposta dos participantes à questão “Compraria um veículo elétrico a bateria?”. Página 39.
- Figura 12.** Resposta à questão “Compraria um veículo elétrico a bateria?”, por faixa etária. Página 40.
- Figura 13.** Resposta à questão “Compraria um veículo elétrico a bateria?” consoante tipo de residência e acesso a estacionamento privado. Página 41.
- Figura 14.** Motivos dos participantes não quererem comprar um BEV. Página 42.
- Figura 15.** Motivos de participantes que comprariam um BEV ainda não terem adquirido um. Página. 44.
- Figura 16.** Resposta à questão “comprou o seu veículo em primeira mão?”. Página 45.
- Figura 17.** Preço médio de aquisição do veículo ligeiro mais recente dos participantes. Página 46.
- Figura 18.** Valor extra que os participantes estariam dispostos a dar por um BEV em relação a um veículo a combustão. Página 47.
- Figura 19.** Resposta à questão “conhece os incentivos governamentais para BEV?”. Página 47.

Figura 20. Resposta à questão “considera os incentivos suficientes?”. Página 48.

Figura 21. Emissões do ciclo de combustível de um veículo, considera as emissões de produção do combustível e da sua utilização no veículo. Página 53.

Figura 22. Produção de eletricidade em Portugal por fonte de energia, em 2019. Página 54.

Figura 23. Composição de uma célula de uma LIB. Página 55.

Figura 24. Processo de carga e descarga de uma célula de uma bateria de iões de lítio. Página 56.

Figura 25. Emissões por tipo de veículo em Portugal. Página 73.

ANEXOS

ANEXO A



Figura A.1. – Publicação “anti-EV”. Extraída de <https://electrek.co/2020/12/17/toyota-ceo-lack-of-vision-spreads-ev-misinformation-spells-the-end/>



Figura A.2. – Publicação “anti-EV”. Extraída de <https://www.dw.com/en/ifo-study-casts-doubt-on-electric-vehicles-climate-saving-credentials/a-48460328>



Figura A.3. – Publicação “anti-EV”. Extraída de <https://medium.com/swlh/electric-cars-are-not-sustainable-43c9f7ab2bb5>

ANEXO B

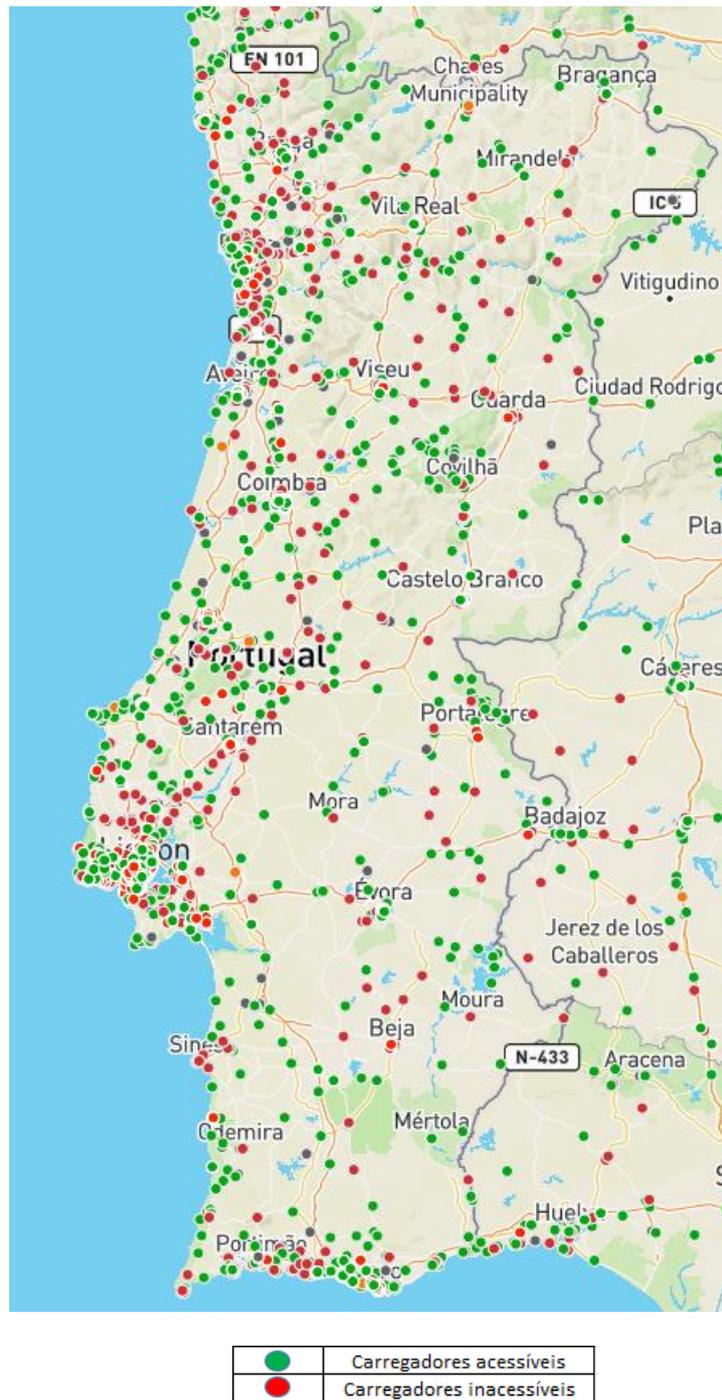


Figura B.1. - Rede de carregadores públicos em Portugal (última atualização 03/02/2022). Extraído de <https://www.electromaps.com/pt/mapa>

ANEXO C



Figura C.1. – Postos de carregamento no parque de estacionamento de um Lidl em Porto alvo, Oeiras. Foto tirada pelo autor.



Figura C.2. – Postos de carregamento no estacionamento do centro comercial Colombo em Lisboa. Foto tirada pelo autor.

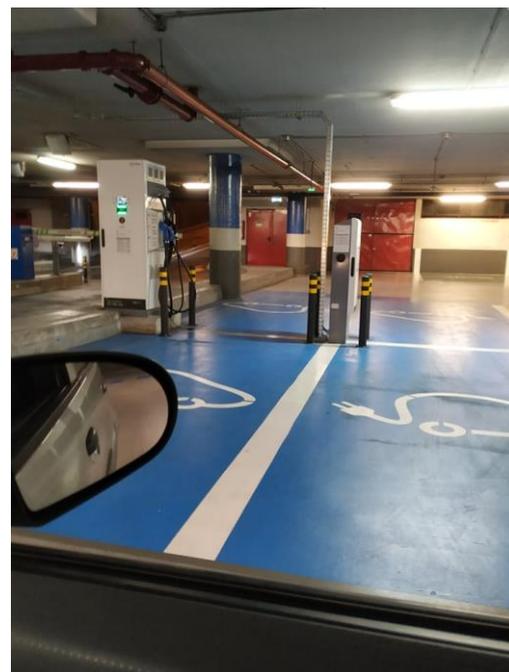


Figura C.3. – Postos de carregamento no parque de estacionamento do aeroporto de Lisboa. Foto tirada pelo autor.