



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Sara Macedo dos Santos

**ESTUDO COMPARATIVO DE VEÍCULOS LIGEIRO DE
PASSAGEIROS COM DIFERENTES TECNOLOGIAS.
ANÁLISE DOS IMPACTOS ENERGÉTICOS, DAS EMISSÕES E DE
CUSTOS NA SUA UTILIZAÇÃO EM PORTUGAL.**

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Eletrotécnica e de Computadores, área de especialização em Energia
orientada pelo Professor Doutor Álvaro Filipe Peixoto Cardoso de Oliveira
Gomes,
apresentada ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de
Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de
Coimbra

fevereiro 2020



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

**ESTUDO COMPARATIVO DE VEÍCULOS
LIGEIRO DE PASSAGEIROS COM DIFERENTES
TECNOLOGIAS.**

**ANÁLISE DOS IMPACTOS ENERGÉTICOS, DAS EMISSÕES E
DE CUSTOS NA SUA UTILIZAÇÃO EM PORTUGAL.**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Eletrotécnica e de Computadores na Especialidade de Energia

Autor

Sara Macedo dos Santos

Orientador

**Professor Doutor Álvaro Filipe Peixoto Cardoso de
Oliveira Gomes**

Júri

Presidente Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Vogal Professora Doutora Carla Margarida Saraiva de Oliveira
Henriques
Professora Adjunta do Instituto Superior de Contabilidade e
Administração de Coimbra

Orientador Professor Doutor Álvaro Filipe Peixoto Cardoso de Oliveira
Gomes
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Coimbra, fevereiro, 2020

“Educação é uma descoberta progressiva da nossa própria ignorância.”

Voltaire.

Agradecimentos

Chegou o fim da mais longa etapa da minha vida até então, o fim do meu percurso académico. Este não seria possível sem o apoio de algumas pessoas às quais eu quero agradecer.

Ao meu orientador Professor Doutor Álvaro Filipe Peixoto Cardoso de Oliveira Gomes, a oportunidade, a compreensão e disponibilidade que teve comigo.

Aos meus pais que sem eles nada seria possível. A eles agradeço por terem acreditado sempre em mim, por todo o sacrifício que fizeram para que eu conseguisse atingir os meus objetivos e também por me terem mostrado que nada é possível sem muito trabalho, esforço e dedicação.

Ao meu irmão, pelo companheirismo, por ser um chato e por me perguntar desde o início se já tinha entregue a dissertação.

À Adriana por ter estado presente desde o início em todas as conquistas e derrotas, pelas explicações de física e pelo seu apoio nos momentos mais difíceis.

À Sofia que apareceu no final deste percurso, mas que muito contribuiu para a minha motivação, para o meu desenvolvimento pessoal, para que a minha vida tenha mais animação e que nunca me deixou sem teto e sem comida.

A todos os meus amigos do DEEC, especialmente ao Gang do LGE por tornarem esta etapa mais divertida, pela ajuda e por nunca me deixarem sozinha no turno da tarde.

Aos “papa luas” e restantes amigos, por me ouvirem sempre a dizer a minha célebre frase: “Está quase! O que importa é ter saúde.”.

Por último, mas muito importante, a toda a CCQ e filhos, pois todo este percurso seria vazio sem os momentos vividos naquela casa e arredores. Um especial agradecimento à Beta, Bruna e Rita por só me terem abandonado muito próximo do fim, por me tornarem quem eu hoje sou, por apesar de longe continuarem presentes e na verdade por tudo!

Ao Costa que sei que estará para sempre presente.

A todos os restantes não mencionados porque a lista se tornaria enorme o meu muito obrigada.

Este trabalho teve apoio da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) e do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) via COMPETE – Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI), no âmbito dos projetos T4ENERTEC (POCI-01-0145-FEDER-029820) e UID/MULTI/00308/2020.

This work has been supported by the European Regional Development Fund through the COMPETE 2020 Program and FCT, under projects UID/MULTI/00308/2020, and "T4ENERTEC" POCI-01-0145-FEDER-029820.

Resumo

O aumento da população mundial e o impacto que a globalização trouxe à sociedade contemporânea, geraram uma necessidade de reforçar os meios de mobilidade. Os meios de transporte estão, em grande medida, dependentes da exploração de recursos naturais, nomeadamente do petróleo. Este, sendo um recurso não renovável, vê as suas reservas naturais decrescerem drasticamente, pelo que urge desenvolver novas soluções para a mobilidade, não só como forma de combater esta finitude como também os impactos negativos associados à sua utilização. A alternativa apontada como sendo a mais sustentável ao paradigma vigente tem sido a eletrificação dos transportes, uma vez que se considera possuírem um impacto ambiental menor.

Assim sendo, a presente dissertação desenvolve diversas análises comparativas entre veículos elétricos e veículos de combustão interna. Inicia com uma análise das várias fases do ciclo de vida (produção, uso e reciclagem) em termos energéticos e de emissões. Tendo como ponto de partida que uma das grandes barreiras à disseminação destas novas tecnologias é o custo elevado na compra e o facto de as emissões serem mais elevadas na sua fase de produção, foi analisado o retorno do investimento inicial e realizada uma comparação dos custos estimados na fase de uso para os anos de 2019 e 2030. Nas análises efetuadas foi necessário levar em conta diversos cenários em termos do parque electroprodutor nacional por ter uma influência preponderante na avaliação dos impactos dos veículos elétricos.

Conclui-se que, para longas distâncias percorridas nas fases de vida de um veículo, o PHEV é o veículo com resultados mais satisfatórios em termos energéticos e de emissões face ao ICE. Em termos de retorno de investimento inicial, verificou-se que o dos EV's é elevado, apesar dos baixos custos na fase de uso.

Assim sendo, é necessária uma grande evolução nas tecnologias, nas infraestruturas e nos custos de produção para que os EV's sejam sustentáveis e possam constituir uma alternativa mais competitiva e aliciante no mercado automóvel.

Palavras-chave: EV, ICE, BEV, PHEV, Mix de produção de energia elétrica, Energia renovável.

Abstract

The world's population growth and the impact of globalization in the modern society demanded the reinforcement of the means of transport. The means of transport are mainly dependent on the natural resource's exploitation, specifically oil. Being a non-renewable resource, oil natural reserves are decreasing drastically, therefore it is urgent to develop new mobility solutions not only because it is a limited resource but also to fight its environmental negative impacts.

The alternative seen has the most sustainable according to the actual paradigm has been the electrification of transportation, since its environmental impact is considered to be less negative. For the purpose of analyzing this issue this thesis aims to develop several comparative analyses between electric vehicles and internal combustion vehicles.

Firstly, it is made an energetic and emissions analysis on the different life cycle stages (production, use and recycling). Considering that one of the great barriers to the dissemination of this new technologies is the consumer's high cost and the higher emissions during its production, the initial investment return was assessed and the estimated use phase costs referring to the years of 2019 and 2030 were compared.

During this study different scenarios were considered in terms of the national energy mix since it has a high influence on the electric vehicles impact assessment.

This study shows that for long distances in a vehicle's life cycle the PHEV is the vehicle whose shows better energetic and emissions results when compared to the ICE.

When we analyze the initial investment return the EV's revealed to be higher even considering the lower costs during the using phase.

Keywords EV, ICE, BEV, PHEV, Electricity generation mix, Renewable Energy

Índice

Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas.....	xi
Simbologia e Siglas.....	xiii
Simbologia	xiii
Siglas	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivo do trabalho	5
1.2. Organização da dissertação	5
2. Eletrificação dos transportes	7
2.1. Eficiência nos transportes.....	7
2.2. Impactos da eletrificação dos transportes.....	9
2.2.1. Emissões.....	9
2.2.2. Sistema de energia.....	11
2.3. Barreiras à eletrificação dos transportes.....	12
3. Caracterização dos veículos	17
3.1. Sistema em série HEV.....	17
3.2. Sistema em paralelo HEV.....	18
3.3. Sistema em série-paralelo HEV.....	19
3.4. Segmentos comerciais	20
4. Análises comparativas.....	23
4.1. Análise nas fases do ciclo de vida	23
4.1.1. Inventário do ciclo de vida	29
4.1.2. Interpretação.....	34
4.2. Análise do custo para o utilizador na fase de uso.....	46
4.3. <i>Payback</i>	Erro! Marcador não definido.
4.4. Emissões por estratégia de carregamento	51
5. Conclusões e trabalhos futuros.....	55
5.1. Conclusões.....	55
5.2. Trabalhos futuros.....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
Apêndice a – Veículos utilizados para a análise	63
Apêndice b- Análise do custo para o utilizador na fase de uso.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Evolução da produção elétrica em Portugal continental	2
Figura 1.2 Mix de produção elétrica de Portugal em 2018 (%)	2
Figura 1.3. Consumo de energia final por setor nacional (%)	3
Figura 1.4. Taxa de dependência energética nacional	4
Figura 1.5. Anomalias da precipitação anual em relação ao valor normal 1961-1990	4
Figura 2.6. Variação do consumo de combustível e emissões CO ₂ estimadas mundialmente	8
Figura 2.7. Emissões Globais de CO ₂ nos transportes	9
Figura 2.8. Número de automóveis registados na Europa (UE-28) entre 1990 e 2016 (em 1.000 unidades)	10
Figura 2.9. Golf	13
Figura 2.10. Golf GTE.....	13
Figura 2.11. e-Golf	13
Figura 2.12 Preço médio da bateria.	14
Figura 3.13. Sistema híbrido em série	17
Figura 3.14. Sistema híbrido em paralelo	18
Figura 3.15. Sistema híbrido em série-paralelo	19
Figura 3.16. Nível de eletrificação dos veículos elétricos.....	20
Figura 4.17. Análise <i>from cradle to grave</i>	23
Figura 4.18. Dados fornecidos pela VW	26
Figura 4.19. Fronteiras do ICE	27
Figura 4.20. Fronteiras do BEV	28
Figura 4.21. Fronteiras do PHEV	28
Figura 4.22. Etapas de produção da gasolina.	29
Figura 4.23. Etapas de produção de eletricidade	30
Figura 4.24. Valores do fator de emissão e PEF por fonte de energia e respetivo cálculo .	31
Figura 4.25. Etapas de produção do veículo.....	32
Figura 4.26. Valores de energia do cenário 1	34
Figura 4.27. Valores energia primária do cenário 1	35
Figura 4.28. Valores das emissões do cenário 1	35

Figura 4.29. Resumo dos valores totais do cenário 1.....	36
Figura 4.30. Valores de energia do cenário 2.....	37
Figura 4.31. Valores de energia primária do cenário 2.....	37
Figura 4.32. Valores das emissões para o cenário 2.....	38
Figura 4.33. Resumo dos valores totais do cenário 2.....	38
Figura 4.34. Valores de energia do cenário 3.....	39
Figura 4.35. Valores da energia primária do cenário 3.....	40
Figura 4.36. Emissões para o cenário 3.....	40
Figura 4.37. Resumo dos valores totais do cenário 3.....	41
Figura 4.38. Resumo dos valores totais de emissões do cenário 3, 4 e 5.....	42
Figura 4.39. Resumo dos valores totais de energia primária do cenário 3, 4 e 5.....	43
Figura 4.40. Valores de energia do cenário 6.....	44
Figura 4.41. Energia primária para o cenário 6.....	44
Figura 4.42. Valores das emissões do cenário 6.....	45
Figura 4.43. Resumo dos valores totais do cenário 6.....	45
Figura 4.44 Preço na fase de uso no ano de 2019 e 2030.	47
Figura 4.45 Resultado do retorno do investimento inicial sem incentivo do governo.....	49
Figura 4.46 Resultado do retorno do investimento inicial com incentivo do governo.	50
Figura 4.47 Resultado do retorno das emissões na produção.	50
Figura 4.48 Contribuição das renováveis ao longo do dia.	52
Figura 4.49 Resultado emissões cenário 1.....	53
Figura 4.50 Resultado emissões cenário 2.	53

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1. Segmentação comercial de veículos	21
Tabela 4.2. Resumo dos cenários para a análise.....	25
Tabela 4.3. Resumo de valores utilizados na análise por segmento e veículo.	26
Tabela 4.4. Dados de 1 litro de gasolina 98	29
Tabela 4.5. Contribuição por fonte no ano 2030	30
Tabela 4.6. Contribuição por fonte no cenário sem carvão	31
Tabela 4.7. Dados para produção de eletricidade.....	32
Tabela 4.8. Dados para a produção de 1kg de veículo	33
Tabela 4.9. Dados para a produção de 1kWh de bateria de íões de lítio.....	33
Tabela 4.10. Preço da eletricidade e dos combustíveis para 2019 e 2030.....	46
Tabela 4.11. Características dos veículos comparados.....	48
Tabela A.12. Dados Veículos utilizados na análise	63
Tabela B.13. Custo na fase de uso ao fim de percorrer 9000 km.	65

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

€ – Euro

CO₂ – Dióxido de carbono

g – Grama

kg – Quilograma

km – Quilómetro

kWh – Quilowatt-hora

l- Litro

mi – Milha

mm – Milímetro

MPG – Milhas por galão

Siglas

ACV – Análise do Ciclo de Vida

BEV – *Battery Electric Vehicle*

DEEC – Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

DPF – *Diesel Particulate Filter*

EE – Eficiência Energética

EGR – *Exhaust Gas Recirculation*

EV – *Electric Vehicle*

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

GEE – Gases Efeito de Estufa

HEV – *Hybrid Electric Vehicle*

ICE – *Internal Combustion Engines*

PEF – Fatores de energia primária

PHEV – *Plug-In Hybrid Electric Vehicle*

PIB – Produto Interno Bruto

SEE – Sistema de Energia Elétrica

V1G – *Unidirectional controlled charging*

V2G – *Vehicle-to-Grid*

V2H/B – Vehicle-to Home/Building

Vw – Volkswagen

WTW – *Well-to-Wheel*

1. INTRODUÇÃO

Grande parte da energia usada no setor dos transportes proveniente quase inteiramente de petróleo, este é um dos setores com maior peso na emissão de gases de efeito de estufa (GEE) para a atmosfera.

Sendo consensual ao nível científico que os GEE contribuem para as mudanças climáticas e que estas representam uma séria ameaça ao equilíbrio dos ecossistemas do planeta e constituem um desafio para a geração atual e futura. Facilmente se percebe a necessidade e urgência de atuação no sentido de mitigar os impactos da atividade humana e procurar caminhar no sentido de uma maior sustentabilidade ambiental. Os governos, um pouco por todo o mundo, têm feito esforços no sentido de criar e implementar estratégias com vista à transição do setor dos transportes para uma mobilidade com a menor emissão de carbono possível, ou seja, para a mobilidade elétrica. As medidas implementadas com o objetivo da descarbonização dos transportes fazem todo o sentido, se estiverem associadas a um aumento das fontes de energia renovável na produção de energia elétrica.

Contudo, é necessário avaliar e comparar se a solução para a descarbonização através de eletrificação dos transportes é a mais sustentável.

Na análise comparativa entre um veículo elétrico (EV - *Electric Vehicle*) e um veículo com motor de combustão interna (*Internal Combustion Engines* - ICE), um dos fatores principais a ter em conta é o mix de produção de energia elétrica do país ou região onde o EV é habitualmente carregado. Tal permite que se avaliem os impactos durante a fase de uso dos veículos. Devem ser considerados os impactos da fase de produção dos veículos e seu transporte para o local de venda. Devem ser ainda contabilizados os impactos na fase de reciclagem ou deposição final dos veículos.

O mix de produção de energia elétrica resulta do conjunto de contribuições das várias fontes de energia que constituem o sistema electroprodutor. As fontes de energia renovável assumiram nos últimos anos um papel incontornável no mix energético nacional, sobretudo com o aumento progressivo de parques eólicos e de pequenas centrais hídricas no território português.

Como podemos observar na figura 1.1 existe um crescimento na produção elétrica através de fontes de energia renovável, que tem permitido evitar o aumento da produção baseada em fósseis apesar do aumento do consumo.

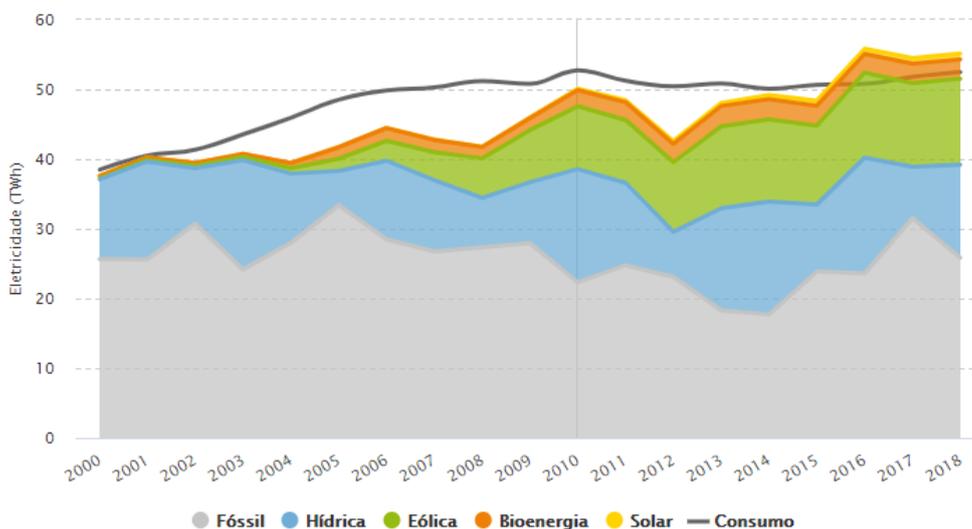


Figura 1.1 Evolução da produção elétrica em Portugal continental ([1])

O ano de 2018 foi marcado, em Portugal, por uma grande contribuição da geração de eletricidade renovável, tendo sido registada, durante o mês de março, uma reversão nas fontes que mais contribuem para a geração total de energia elétrica, que se manteve até ao final do ano: o país foi capaz de suprir as suas necessidades de consumo mensais em Portugal continental com recurso a mais de 50% de fontes de energia renovável, facto até então nunca registado (figura 1.2).

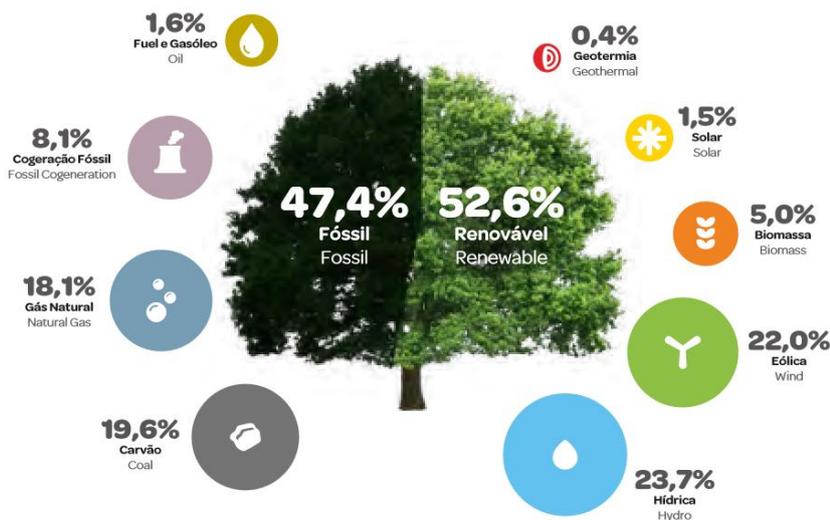


Figura 1.2 Mix de produção elétrica de Portugal em 2018 (%) ([2])

Ao analisar a figura 1.2 em 2018, a produção hídrica e a eólica satisfizeram, em conjunto, quase metade (45,7%) da produção de eletricidade e a produção a partir de fontes de energia renováveis, em Portugal, correspondeu a 52,6 % do total da energia elétrica produzida.

Em Portugal os transportes são o setor de atividade com o maior peso no consumo final de energia, como podemos observar, a título de exemplo, na figura 1.3, no ano de 2017 o consumo foi de 37% [3].

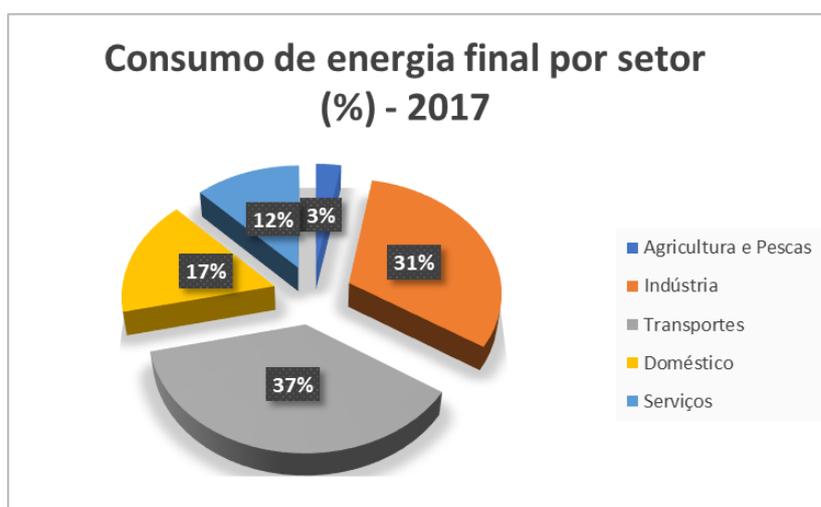


Figura 1.3. Consumo de energia final por setor de atividade (%) ([3], adaptado).

Não sendo Portugal um produtor de petróleo, carvão ou gás natural e não possuindo capacidade de produção hidroelétrica, solar ou eólica capazes de satisfazer o consumo integral de energia em cada instante, sem discontinuidades, o país manifesta uma elevada dependência energética ¹ proveniente do exterior.

¹ “A taxa de dependência energética é o quociente da quantidade líquida de energia importada pela quantidade total de energia consumida numa determinada entidade geográfica ou económica, num dado período” [28].

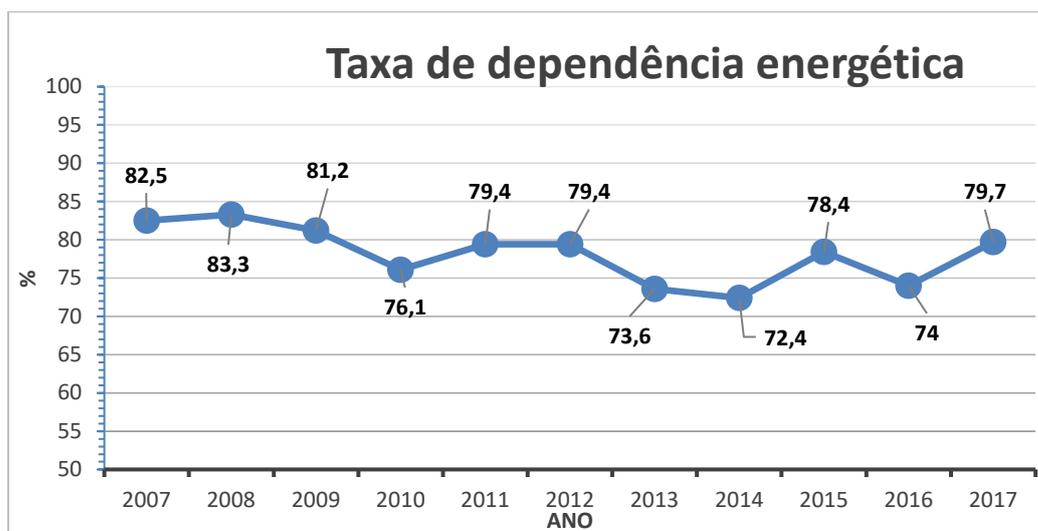


Figura 1.4. Taxa de dependência energética nacional ([3], adaptado).

Podemos observar na figura 1.4 que na presente década existe uma tendência de estagnação da taxa de dependência, verificando-se uma forte correlação do seu valor com a variabilidade dos anos hidrológicos, conforme se pode verificar na figura abaixo (figura 1.5).

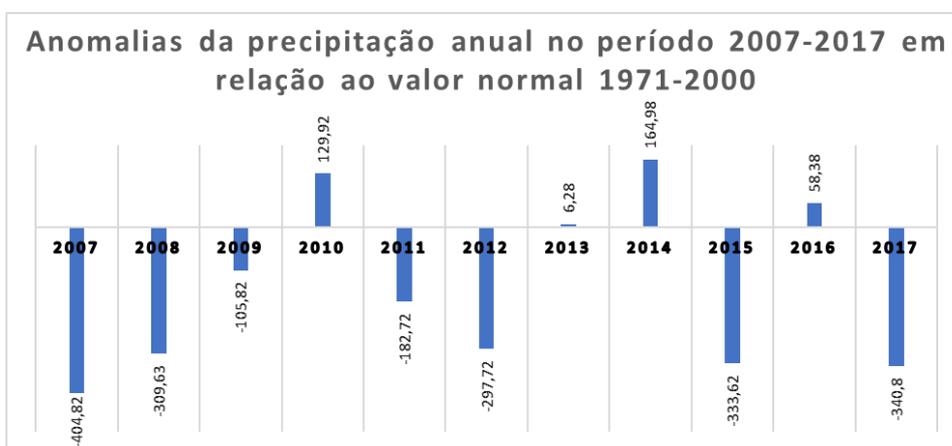


Figura 1.5. Anomalias da precipitação anual em relação ao valor normal 1961-1990 [4].adaptado

Quando existe pouca precipitação, como por exemplo nos anos de 2015 e 2017, a dependência energética é mais elevada.

Futuramente, com a progressiva penetração de fontes de energia renovável a par com a eletrificação dos transportes, é expectável observar-se uma tendência para a diminuição da dependência energética provinda de combustíveis fósseis.

1.1. Objetivo do trabalho

Tendo como objetivo principal a análise comparativa das diferentes tecnologias de transporte rodoviário individual de passageiros em termos de sustentabilidade, nesta dissertação começa-se por identificar, analisar e compreender quais as barreiras e os impactos da eletrificação dos transportes. Efetuando-se de seguida, para diversos cenários de produção de energia elétrica nacional, uma análise de impactos das diversas tecnologias.

A análise apresentada procura basear-se em estudos comparativos entre EV e ICE, analisar e discutir ideias pré-definidas acerca da utilização destes veículos. Nomeadamente:

- Será que um EV tem menores emissões e contribui para uma menor dependência energética do que um ICE?
- Qual a influência da contribuição de fontes renováveis na produção de energia elétrica?
- O custo ao conduzir um EV é mais baixo?
- Qual a distância que é necessário percorrer para existir o retorno do investimento inicial da compra e o retorno das emissões da produção dos veículos?
- O tipo de carregamento pode ter impacto nas emissões?

Para procurar dar resposta a estas questões foi feita uma análise nas fases de produção, uso e reciclagem (semelhante a uma análise do ciclo de vida), das emissões, de energia final e energia primária e foram desenvolvidos outro tipo de análises para compreender os custos de utilização, o *payback* e a contribuição das fontes de energias renováveis no carregamento das baterias dos veículos elétricos.

1.2. Organização da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos diferentes.

No primeiro capítulo apresenta-se os motivos da necessidade das análises efetuadas. Consequentemente, estuda-se o mix de produção de energia elétrica nacional tendo atenção a penetração das fontes de energia renovável e assim, a evolução da produção de energia elétrica em Portugal continental. Também se apresenta o consumo de energia

final por setor de atividade, assim como a evolução da dependência energética nacional ao longo dos anos. Posteriormente, expõe-se os vários objetivos desta dissertação.

No segundo capítulo faz-se uma breve exposição de como se tem evoluído para uma maior eficiência nos transportes e se faz o levantamento de vários impactos, nomeadamente, das emissões, nos recursos naturais e no sistema de energia elétrica. Também são apresentadas as barreiras financeiras para a adoção de EV's devido às limitações técnicas dos mesmos fazendo a comparação dos valores de compra dos veículos com as várias tecnologias. Por fim, é abordado os incentivos governamentais oferecidos aos compradores de EV's.

No terceiro capítulo são apresentados os vários tipos de EV's e é explicado o seu funcionamento. Nos estudos apresentados, os veículos foram divididos por grupos com a designação de segmentos e neste capítulo também é explicado em que segmentos se enquadra cada tipo de veículo.

No quarto capítulo fazem-se vários tipos de análises, nomeadamente, a análise nas fases do ciclo de vida, simulando vários cenários e analisando diversos indicadores e de várias matrizes de produção de energia elétrica em Portugal; a análise do custo na fase de uso no ano 2019 e no ano de 2030 para os vários veículos e segmentos. Calcula-se o *Payback* onde foi feito o cálculo para o retorno do investimento inicial e do retorno das emissões da produção comparando EV's com ICE's e PHEV's com ICE's para um grupo específico de veículos. Finalmente, faz-se uma análise variando a estratégia de carregamento com diferentes diagramas diários de produção de energia elétrica.

Por fim, no quinto capítulo são evidenciadas as principais conclusões obtidas com a realização desta dissertação e a proposta com a vista a trabalhos futuros.

2. ELETRIFICAÇÃO DOS TRANSPORTES

A eletrificação dos transportes é amplamente considerada como uma estratégia viável para reduzir a dependência do petróleo, assim como os impactos ambientais do transporte rodoviário. A eletrificação dos transportes combina um sistema de tração energeticamente eficiente com a oportunidade de usar fontes de energia renovável.

Entende-se por eficiência energética a utilização de energia de forma eficaz para realizar um processo ou fornecer um serviço, através do qual o desperdício de energia é minimizado e o consumo total de recursos energéticos é reduzido. Por outras palavras, práticas ou sistemas energeticamente eficientes vão procurar usar menos energia enquanto desempenham qualquer atividade dependente desta [5]. Ao mesmo tempo, reduzem-se os impactos ambientais negativos correspondentes e minimiza-se o consumo de energia.

2.1. Eficiência nos transportes

Para que o transporte seja energeticamente eficiente é necessário trabalhar-se em três vertentes: eficiência sistémica que consiste em organizar o uso do solo, atividades económicas e sociais de tal forma que as necessidades de deslocação sejam reduzidas; eficiência nas viagens, ou seja, fazer uso de transportes públicos e o uso de veículos não motorizados para reduzir o consumo de energia por viagem; eficiência do veículo, a qual será abordada nesta dissertação, cujo objetivo é o consumo da menor quantidade possível de energia por quilómetro percorrido, através do uso de tecnologias e combustíveis avançados e através de melhorias na operação do veículo. Convém realçar que o fator preponderante para a mudança de tecnologia ao nível dos transportes é o ambiental, ou seja, os impactos do uso dos combustíveis fósseis e não tanto a questão da eficiência na utilização da energia primária. Esta questão tem suscitado, por um lado, tendências no sentido da eletrificação do setor e por outro lado, tendências para o aumento da eficiência das tecnologias aos motores de combustão interna. Tem também promovido a crescente utilização de biocombustíveis[6].

Para o aumento da eficiência nos veículos já são adotadas algumas tecnologias na sua construção. Assim, em termos de características físicas podemos verificar que a eficiência se centra, nomeadamente, mas não restrito a, nos seguintes aspetos técnicos: chassis mais baixos, utilização de materiais leves, pneus mais estreitos, jantes mais fechadas,

tendência para linhas aerodinâmicas, introdução de sistemas de apoio à condução e utilização de sistemas *start and stop*. Em relação ao motor dos veículos temos os motores elétricos, o motor térmico e, para o caso dos veículos híbridos a tração, é feita com a combinação de um motor elétrico com um motor térmico. Os fabricantes têm vindo a aplicar nestes motores as tecnologias que já empregaram nos motores Diesel, como por exemplo, a injeção direta e a sobrealimentação por turbocompressor. Isto permitiu construir motores de menor dimensão, menor número de cilindros e menor cilindrada. Em consequência, o aumento e a melhoria na entrega de binário permitiram alargar os desenvolvimentos das caixas de velocidades, o que, em conjunto com o aumento do número de mudanças, também contribuiu para reduzir consumos e emissões.[7].

A figura 2.6 apresenta os valores da redução dos consumos e o valor das emissões nos anos 2012 e 2017.

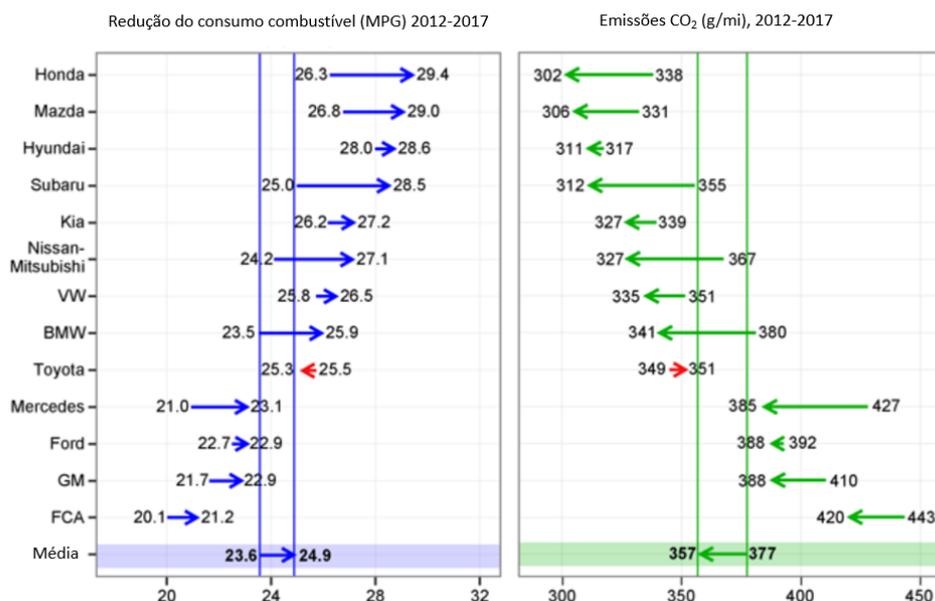


Figura 2.6. Variação do consumo de combustível e emissões CO₂ estimadas mundialmente ([8] adaptado)

Observamos, portanto, que os esforços feitos pelos fabricantes têm demonstrado efeitos para a redução dos consumos e das emissões. Observamos que em relação aos consumos de combustíveis temos uma redução média de 1,3 MPG e nas emissões uma redução média de 20 g/mi de CO₂.

2.2. Impactos da eletrificação dos transportes

Os impactos da eletrificação dos transportes vão depender do nível de adoção desta tecnologia pelas comunidades. Os principais impactos são: redução das emissões, redução da utilização de recursos naturais e alteração da procura ao nível do sistema de energia.

2.2.1. Emissões

Atualmente, o transporte motorizado a combustão assumiu o papel predominante nas deslocamentos quotidianos da população. Os efeitos na saúde surgem como resultado da exposição a vários poluentes manifestando-se através de doenças respiratórias, cardiovasculares e pré-natais[9]. O efeito no meio ambiente relaciona-se essencialmente com o aquecimento global.

Os automóveis elétricos usando bateria (*Battery Electric Vehicles – BEV’s*) têm valores nulos de emissões de escape na fase de uso, tendo um impacto positivo em centros urbanos, fazendo com que os BEV’s sejam amplamente aceites. A comparação das emissões de GEE, envolvidas na vida de um EV comparativamente a um ICE, podem ser elucidadas através de uma ACV (Análise Ciclo de Vida).

Globalmente, o transporte representou 25% do total de emissões em 2016, cerca de 8GtCO₂ [10]. De 1990 para 2016 o maior aumento foi nos transportes rodoviários como se pode observar na figura 2.7

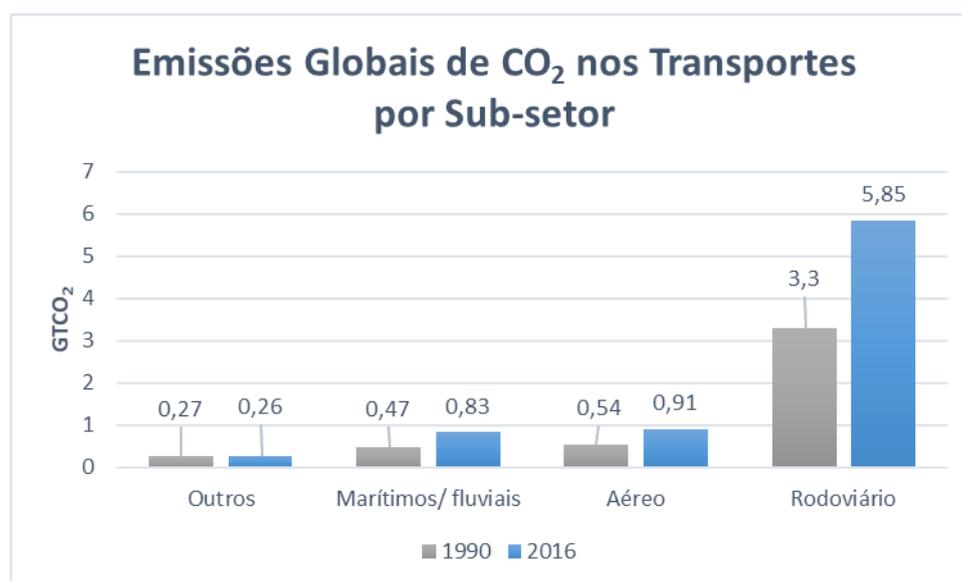


Figura 2.7. Emissões Globais de CO₂ nos transportes [10] adaptado.

No capítulo 2.1 foi referido que os transportes estão mais eficientes, o que parece um contrassenso relativamente a este aumento de emissões nos transportes rodoviários, no entanto apesar desse aumento a subida das emissões é explicada pelo facto de haver um aumento de veículos na Europa (figura 2.8).

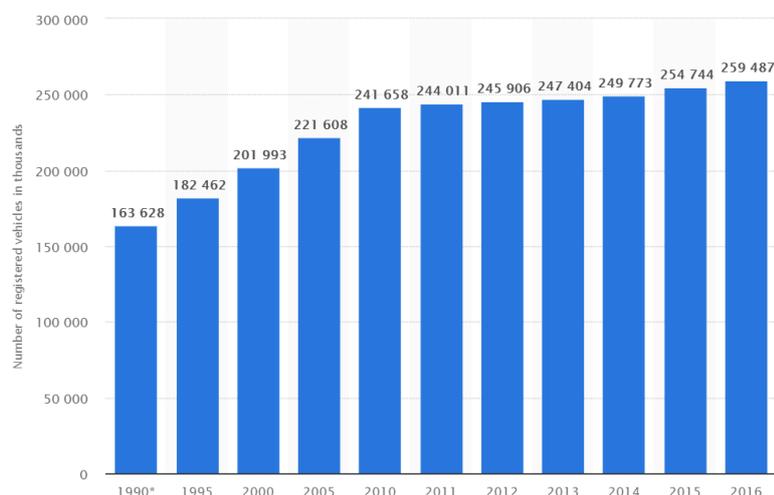


Figura 2.8. Número de automóveis registados na Europa (UE-28) entre 1990 e 2016 (em 1.000 unidades) [11]

O mercado da União Europeia continua a ser dominado por ICE's [12] e para que os impactos das emissões sejam diminuídos, foram impostas várias normas obrigatórias aos fabricantes dos automóveis. Portanto, nos ICE, desde 1991 são impostos padrões europeus de emissões aos novos carros com o objetivo de diminuir os impactos ambientais. Essas normas são denominadas de Euro e são numeradas de 1 a 6, sendo que quanto maior o número mais recente é o padrão. A Euro 6 é a norma mais recente e aplica-se a todos os veículos registados a partir de 1 de setembro de 2015. Na norma Euro 1 foi efetuada a troca de gasolina com chumbo para a gasolina sem chumbo e também a montagem de um catalisador nos carros a gasolina para reduzir as emissões de monóxido de carbono (CO)[13]. A Euro 2, 3 e 4 incidiu na redução dos limites de emissão de vários tipos de gases e redução de partículas.[14][15] Na Euro 5 foi introduzida um filtro de partículas (*Diesel particulate filter* – DPF) a todos os veículos a diesel para atender a redução de partículas em número e em peso[16]. Na Euro 5 foi a primeira vez que se impôs um limite de partículas para os veículos a gasolina.[15]

A Euro 6 foca o limite de compostos azotados (NOx) e para cumprir as novas metas, alguns fabricantes de automóveis introduziram a redução catalítica seletiva, na qual

um agente redutor de líquido *AdBlue* é injetado através de um catalisador no sistema de escape de um veículo a diesel [17]. Uma reação química converte o óxido de azoto em vapor de água (H₂O) e azoto (N₂) inofensivos, que são expelidos pelo tubo de escape. O método alternativo de atender às normas Euro 6 é através da recirculação de gases de escape conseguida pela introdução da válvula EGR (*Exhaust Gas Recirculation*) onde uma parte dos gases de escape é misturada com o ar de admissão para diminuir a temperatura da queima [11],[15].

Atualmente seriam necessários 50 carros novos para produzir a mesma quantidade de emissões poluentes que um veículo fabricado na década de 1970 [18].

2.2.2. Sistema de energia

A nível nacional, apesar do desenvolvimento e velocidade de adoção dos EV's, por parte dos utilizadores ser incerto, o número de EV's no mercado pode crescer de forma acelerada. Deste modo manifesta-se uma preocupação em relação aos impactos negativos na rede elétrica ao nível de harmónicos, perdas, desequilíbrio de fases, sobretensões, instabilidade do sistema, entre outros. Um dos impactos negativos é o aumento do pico de consumo de energia elétrica. Para mitigar esse impacto, torna-se essencial a utilização do carregamento inteligente.

De entre todos os tipos de EV's, os que apresentam impactos diretos no Sistema de Energia Elétrica (SEE) são os que tem capacidade de se ligar diretamente à rede elétrica, ou seja, os BEV e os automóveis híbridos plug-in (*Plug-In Hybrid Electric Vehicles - PHEV's*). Um EV é visto pela rede como uma carga uma vez que o trânsito de potência é da rede para a bateria [4]. Na tentativa de mitigar os problemas do carregamento dos EV's surgiu a necessidade de criar estratégias de carregamento. Uma das estratégias é denominada por *vehicle-to-grid* (V2G). Esta estratégia permite que o veículo possa fornecer energia à rede, deixando de ser vista pela rede apenas como uma carga para passar também a ser vista como potencial fonte de energia. Esta estratégia é benéfica para ajudar a equilibrar os diagramas de carga, pois vai poder fornecer energia em horas de ponta, quando a procura é elevada, e também em caso de falha de um gerador ou qualquer interrupção no fornecimento de energia. Outra estratégia, se passível de implementação, é efetuar o carregamento das baterias quando houver pouca procura de energia, ajudando assim a nivelar o diagrama de carga e também privilegiar o carregamento/armazenamento quando existe excedente de

produção de energia elétrica através de fontes de energia renováveis. Para que a estratégia V2G seja viável, as empresas de energia têm de estar dispostas a adotar tecnologias que permitam que o veículo devolva energia à rede. Um dos inconvenientes é que as baterias dos EV's têm de carregar e descarregar constantemente o que leva à diminuição da longevidade da bateria [5]. Outra estratégia de carregamento é chamada de Vehicle-to home/building (V2H/B). Neste caso o EV é usado como uma fonte de alimentação de backup do edifício durante os períodos em que há falta de energia, para aumentar o autoconsumo de energia produzida no local tendo a possibilidade de armazenamento quando o preço da energia é mais baixo e usar quando o preço é mais elevado. Nesta estratégia, tal como na V2G, existe a desvantagem da diminuição da vida da bateria. Outra das estratégias mais debatidas é conhecida por *Unidirectional controlled charging* (V1G) que como o nome indica é um carregamento unidirecional. Ao contrário das outras estratégias anteriormente mencionadas, onde havia transferência de potência da rede para o EV e do EV para a rede ou casa/edifício, só existe trânsito de potência da rede para o EV.

Resumindo, o carregamento inteligente significa adaptar o ciclo de carregamento dos EV's às condições do sistema de energia e às necessidades dos utilizadores dos mesmos. Isso facilita a integração dos EV's atendendo às necessidades de mobilidade.

2.3. Barreiras à eletrificação dos transportes

Além do transporte ferroviário, as tecnologias para o transporte eletrificado ficam ainda atrás dos sistemas com alimentação convencional em termos de alcance, custo e sistemas adequados de abastecimento. Esta questão também inclui acesso seguro a matérias-primas e formas adequadas da reciclagem.

A penetração de uma dada tecnologia, nova ou não, depende de vários fatores, existindo muitas vezes barreiras à sua disseminação. Começa-se por falar das barreiras em relação às características do veículo. Assim, os principais fatores que influenciam a adoção de um EV em relação às características dos veículos são: custos de compra, autonomia e tempo de carregamento.

Sabemos que o preço de compra é um dos fatores de decisão importante para um utilizador. Segundo várias pesquisas apresentadas em [20], o preço de aquisição é a principal desvantagem dos veículos elétricos, uma vez que é considerado elevado quando comparado com os preços dos veículos com tecnologia convencional [20], [21]. Na figura 2.9, figura

2.10 e figura 2.11 foi feita a comparação de veículos da marca Volkswagen, neste caso o modelo Golf. O modelo a gasolina é denominado por Golf, o modelo Golf GTE é um PHEV e o modelo e-golf é um BEV. A diferença e o funcionamento das várias tecnologias são explicados no capítulo 3.



Figura 2.9. Golf [11] adaptado



Figura 2.10. Golf GTE[11] adaptado

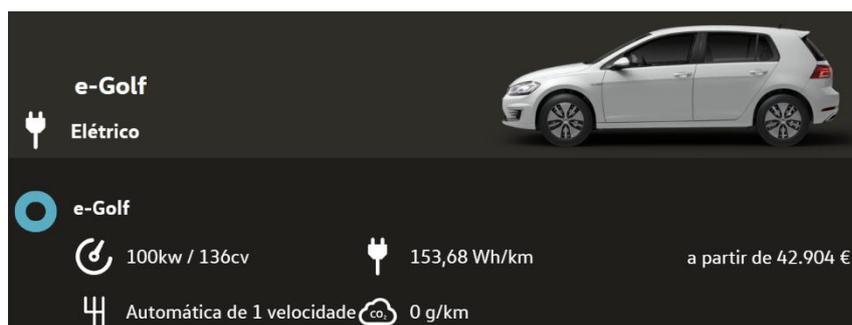


Figura 2.11. e-Golf[11] adaptado

Pode-se observar pelas figuras acima (figura 2.9, figura 2.10 e figura 2.11) que existe uma grande diferença nos preços de compra. Todos os veículos foram escolhidos com o equipamento base para que a comparação seja a mais correta possível, apesar de a potência ser diferente.

No entanto, o preço dos EV está a diminuir, [20] o que pode levar a que esta deixe em breve de ser a desvantagem principal.

Ao longo dos anos observa-se a diminuição dos custos da bateria figura 2.12, o que juntamente com o aumento de produção de veículos [22] explica, em parte, a redução dos preços de compra dos EV's, [21], [23].

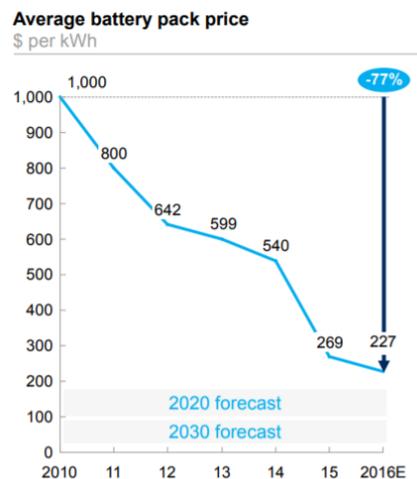


Figura 2.12 Preço médio da bateria. [21]

Estudos diversos revelam que a pequena autonomia e o elevado tempo de carregamento do veículo, são outros dois importantes fatores limitativos de uma maior adoção de VE. Por exemplo, resultados em [24] sugerem que os consumidores pagariam até cerca de 2440 € para reduzir o tempo de carregamento de 1 hora para 10 minutos. Manter o tempo de carregamento durante 1 hora, provavelmente, ainda impediria as viagens de longa distância, enquanto a redução do tempo de carregamento para 10 minutos permitiria aos EV's fazer viagens de longa distância quase no mesmo tempo que os ICE's, sendo este fator aliciante para a compra de EV's. Esta limitação tem tendência a diminuir com a introdução de novas tecnologias de carregamento e com o aumento da autonomia dos veículos.

Existem fatores que não dependem das características do veículo nomeadamente, preços relativos dos combustíveis, características do consumidor, disponibilidade de postos de carregamento e visibilidade pública/normas sociais e ainda os incentivos políticos.

Nos países como os EUA, onde os preços dos combustíveis à base de petróleo tendem a ser relativamente baixos, a vantagem comparativa do custo de combustível de qualquer EV será menor do que na Europa, onde os preços dos combustíveis à base de petróleo tendem a ser relativamente altos.

Existem também fatores intrínsecos aos consumidores que influenciam a decisão de aquisição dos VE, nomeadamente, o nível de educação, o nível de rendimento, o número de veículos pessoais, o nível de interesse pelo meio ambiente e pela inovação tecnológica.

Quando se fala do indicador educação a probabilidade de comprar um EV aumenta com o nível de educação[25]. Uma família com mais do que um veículo, por norma usa, os segundos carros para padrões de condução mais regulares com menos dias de longa distância, e são mais adequados para serem substituídos por um BEV em comparação com o primeiro carro. Além disso, tipicamente as famílias com vários carros têm rendimentos mais elevados e, portanto, maior será a probabilidade de compra de BEV's [26].

Com o aumento da preocupação ambiental, existe uma preferência por veículos mais amigos do ambiente, mas os utilizadores priorizam a utilidade do veículo em detrimento dos impactos ambientais. Por fim, o último fator impactante na aquisição de VE é a inovação tecnológica. Quando as inovações são introduzidas no mercado estas passam por um processo de difusão. Ao longo desse processo podem ser identificados vários tipos de consumidores. Existe um pequeno grupo de consumidores que adotam as tecnologias numa fase muito inicial, ao contrário da grande maioria que adotam quando o processo de difusão está numa fase avançada[27].

A disponibilidade de postos de carregamento é uma barreira devido à limitada autonomia do EV. A presença de uma infraestrutura de postos de carregamento adequado é urgente, ou seja, é necessária uma infraestrutura capaz de atender às necessidades de mobilidade dos utilizadores de um EV e motivadora para a adoção de mais EV's. Todavia a melhoria da infraestrutura encerra em si mesmo uma contradição, visto que a infraestrutura limitada é uma barreira à adoção do EV, mas o investimento em redes de postos de carregamento depende do número de EV's na estrada.

O EV é visto, por alguns utilizadores, como um símbolo de *status* que ajuda a reforçar o comportamento amigo do ambiente. É possível que quanto maior for o número de EV's na estrada maior poderá ser a consciencialização e o interesse em EV's, assim como a posse de EV's pode influenciar a visão e a adoção por parte de amigos, familiares, colegas de trabalho, entre outros.

A fim de mitigar as barreiras à adoção de EV's os governos desenvolveram mecanismos de incentivo a adoção. Em Portugal conforme o disposto no despacho n.º 2210/2019, é introduzido um novo regime de incentivos para a aquisição de veículos de

baixas emissões. Em 2019 o apoio financeiro é de 3 000 euros por parte de pessoas singulares e esta pessoa só pode beneficiar uma única vez deste incentivo, em que o valor do veículo não pode ultrapassar os 62.500 euros. No caso de uma pessoa coletiva o benefício é de 2 250 euros limitado a 4 incentivos[28].

O governo tem interesse em vencer o desafio da mobilidade e, para isso, tem de fomentar o aumento e a melhoria das infraestruturas através do apoio ao desenvolvimento de postos de carregamento rápido, do incentivo aos modelos de negócio melhorados que propiciem o desenvolvimento da rede e incentivar o desenvolvimento de carregadores em edifícios já existentes. Além destas principais estratégias o governo também desenvolve legislação, regulação, tenta mudar mentalidades, cria mercado e desenvolve a indústria na mobilidade elétrica[29].

Como podemos observar existe uma grande lista de barreiras à eletrificação dos transportes, mas, apesar desta lista, existem formas de mitigar a maior parte destas barreiras. Ao longo do tempo com maior conhecimento e com a massificação dos EV's algumas destas barreiras deixarão de existir.

3. CARACTERIZAÇÃO DOS VEÍCULOS

Existem três principais tipos de veículos elétricos: Automóveis híbridos (*Hybrid Electric Vehicles -HEV's*), PHEV's e os BEV's.

Os HEV's são veículos que combinam um motor de combustão, que se alimenta com combustível convencional, com um ou mais motores elétricos que se alimenta a partir de energia armazenada em baterias cuja função é otimizar a eficiência do funcionamento do motor a combustão, através do ajuste da velocidade e do binário do motor. Estas baterias são carregadas através de travagem regenerativa e da inércia. Não havendo possibilidade de conectá-lo a uma tomada, estas baterias normalmente não possuem grande autonomia.

A arquitetura de um HEV está relacionada com a conexão entre os componentes que definem o fluxo de energia, assim, a tração do HEV possui três tipos diferentes de configuração: sistema em série, paralelo e série-paralelo.

3.1. Sistema em série HEV

O sistema em série possui duas máquinas elétricas, um gerador e um motor elétrico. Este sistema é denominado de série, porque a energia que flui para as rodas é feita em série, como mostra a figura 3.13.

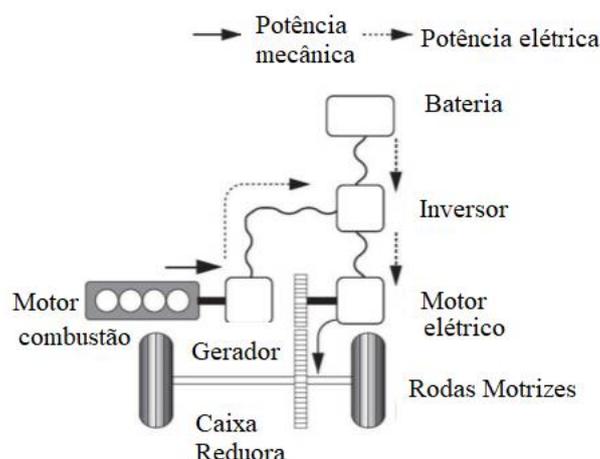


Figura 3.13. Sistema híbrido em série (adaptado,[30])

Nesta configuração o motor de combustão aciona um gerador elétrico em vez de acionar diretamente as rodas. O tamanho do motor de combustão é especificado para manter as baterias carregadas. O gerador carrega uma bateria e aciona um motor elétrico que move o veículo. Quando grandes quantidades de energia são necessárias, o motor consome eletricidade da bateria e do gerador.

3.2. Sistema em paralelo HEV

No sistema em paralelo as rodas são acionadas pelo motor de combustão e pelo motor elétrico acoplados a uma transmissão mecânica como mostra a figura 3.14.

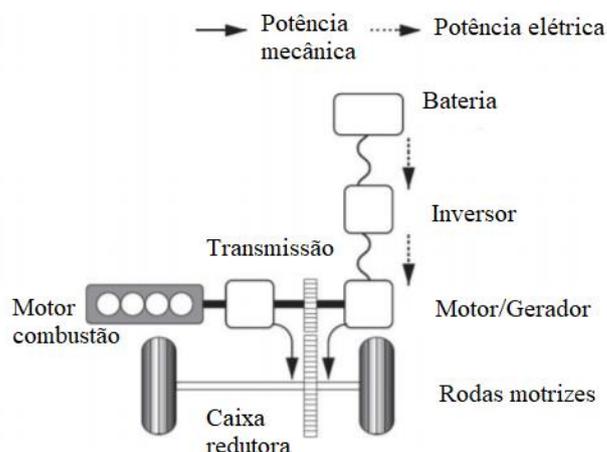


Figura 3.14. Sistema híbrido em paralelo (adaptado,[30])

Na configuração paralela, o motor de combustão e o motor elétrico são capazes de trabalhar de forma independente ou cooperativa para fornecer tração, sendo o motor elétrico usado para apoiar o motor de combustão durante as acelerações. A distribuição de energia entre o motor de combustão e o motor é variada, de modo que ambos funcionem na sua região ideal de operação, tanto quanto possível. Nesta configuração o gerador separado não existe. Sempre que a operação do gerador é necessária, o motor elétrico funciona como gerador. Num híbrido leve paralelo o veículo nunca pode dirigir no modo elétrico puro pois o motor elétrico liga apenas quando é necessário um impulso.

3.3. Sistema em série-paralelo HEV

Com a configuração série-paralelo (figura 3.15) o motor elétrico pode acionar o carro sozinho, o motor a combustão pode acionar o carro sozinho ou eles podem acionar o carro juntos como na configuração paralela. No entanto, também precisa de uma máquina elétrica adicional e um sistema de divisão de potência, o que torna o sistema de tração mais complexo.

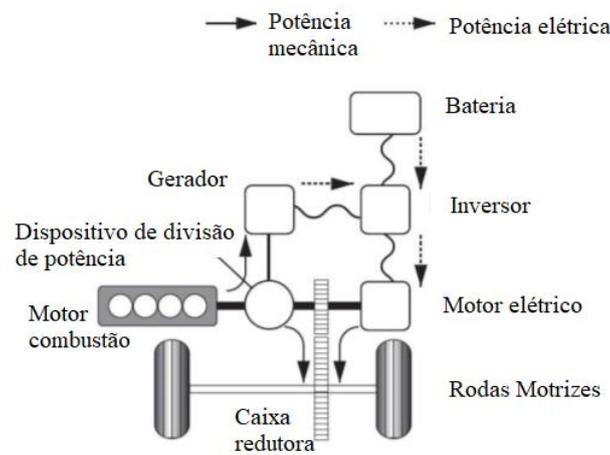


Figura 3.15. Sistema híbrido em série-paralelo (adaptado,[30])

Esta configuração possui dois motores, portanto, quando necessário, o sistema aciona as rodas enquanto gera eletricidade simultaneamente através do gerador. Conseqüente esta configuração oferece alta eficiência, porque a potência do motor é dividida em dois caminhos; um caminho é transferido para o sistema de tração e o outro para o gerador. Esta configuração possui um dispositivo de divisão de potência que permite que o gerador faça o arranque no motor de combustão, ou seja, o carro não precisa de um motor de arranque.

Dependendo da finalidade desejada, cada arquitetura apresenta diferentes recursos que podem ser considerados. Por exemplo, se os principais recursos desejados são a simplicidade e os custos, a arquitetura em série apresenta a solução ideal. Por outro lado, o paralelo pode ser uma boa escolha, se o desempenho e os custos forem os recursos mais importantes a serem considerados. Finalmente, se a dirigibilidade e o desempenho são os recursos desejados, a configuração série-paralelo pode ser o ideal.

Os PHEV's combinam aspetos operacionais dos BEV's e HEV's. Por outras palavras, o PHEV é um HEV com capacidade de recarregar o sistema de armazenamento de

energia através da rede elétrica para que esta forneça energia ao veículo. Portanto, os PHEV's têm duas fontes diferentes de energia disponíveis, a energia elétrica armazenada da rede e a energia química armazenada na forma de combustível. Os componentes e a arquitetura dos PHEV's são semelhantes aos HEV's.

Os BEV's operam unicamente com energia proveniente das baterias, que são carregadas através da inércia e travagem regenerativa, mas essencialmente, através da ligação à rede elétrica, visto que as baterias possuem autonomias elevadas. Os BEV's têm a vantagem de ter emissões zero no momento da condução.

Na figura 3.16 percebe-se o nível de eletrificação dos veículos começando pelos ICE, que representam os veículos convencionais em que os motores são alimentados com combustíveis fósseis, até aos BEV's.

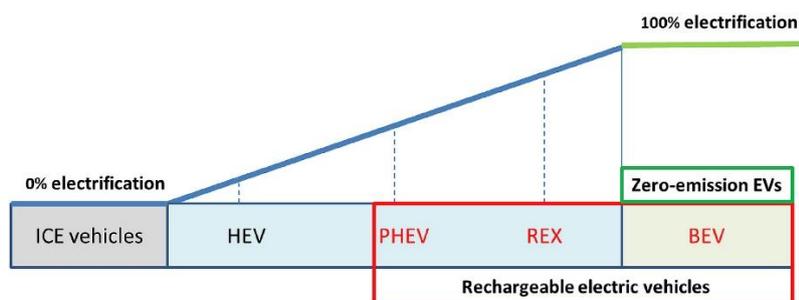


Figura 3.16. Nível de eletrificação dos veículos elétricos. [31]

3.4. Segmentos comerciais

Com o número crescente de modelos de veículos com inúmeros tamanhos e formatos, concebidos para diferentes necessidades e exigências, a divisão dos veículos em segmentos facilita a procura, a análise e a compra e venda de veículos. Os segmentos são definidos através de variados fatores, sendo baseado, sobretudo no comprimento dos veículos. Devido aos múltiplos fatores, a categorização não respeita todos os valores de referência do segmento em que está inserido.

Os veículos são divididos em 6 segmentos como mostra a tabela 3.1.

Tabela 3.1. Segmentação comercial de veículos

Segmento	Característica	Comprimento (m)
A	Económico – cidadão	De 3,3 a 3,7
B	Inferior – utilitário	De 3,9 a 4,2
C	Médio inferior – Compacto	De 4,2 a 4,5
D	Médio superior – familiar	De 4,5 a 4,6
E	Superior – executivo	Acima de 4,6
F	Luxo - luxo	²

² Considerado o segmento de mercado mais alto – correspondem sobretudo a modelos catalogados pelo seu grau de luxo e exclusividade. Desta forma, neste grupo, as dimensões e proporções dos modelos estão em segundo plano, ou seja, é uma característica relativa.

4. ANÁLISES COMPARATIVAS

4.1. Análise nas fases do ciclo de vida

Com o aumento da consciencialização para a proteção do meio ambiente houve necessidade de implementar métodos e ferramentas que permitissem medir e comparar os impactos ambientais. Um dos métodos utilizados é a ACV. A ACV faz uma análise quantitativa ao longo de todo o ciclo de vida de um produto, ou seja, desde a aquisição de matérias primas até à reciclagem do produto [32].

A comparação entre vários veículos é feita tipicamente através de uma avaliação *well-to-wheel* (WTW). A avaliação WTW analisa unicamente a fase de uso, ou seja, por exemplo, na WTW as emissões dos BEV são zero, visto que não é considerado as emissões na produção de energia elétrica e no momento da condução não existem gases expelidos pelo escape. Esta análise difere também da ACV porque não considera a energia e as emissões envolvidas na construção e nos aspetos de fim de vida [33]. Nesta dissertação vamos usar uma análise tipo *from cradle to grave* (do berço ao túmulo) o que significa que vamos avaliar toda a vida do veículo, isto é, vamos ter em consideração várias fases: a produção, o uso e a reciclagem do veículo como demonstrado figura 4.17.

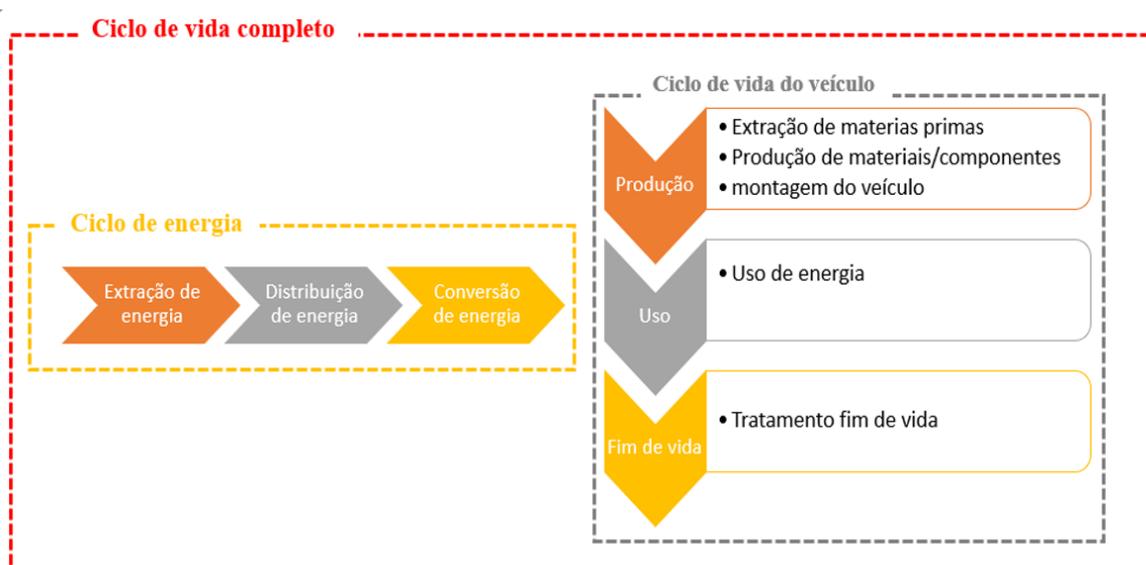


Figura 4.17. Análise *from cradle to grave*.

Como se pode observar na figura 4.17 uma análise detalhada requer que se considere a totalidade dos impactos, quer da energia usada pelo veículo quer do veículo propriamente dito. Para tal irá ser feita uma análise desde a obtenção de energia (eletricidade e combustível) para alimentar o veículo na fase de uso, tendo atenção ao mix de produção de energia elétrica para o caso dos EV's, e rastrear os consumos, tal como é representado na figura 4.17 pelo ciclo de energia. Posteriormente, irá ser considerado o ciclo de vida do veículo onde está incluída a extração, o transporte, o processamento de matérias-primas, a produção de materiais/componentes para o veículo e a montagem do veículo na fase de produção. Na fase de uso será abordado o uso de energia e energia primária e por último, na fase do fim de vida, o tratamento do veículo em que este é desmontado e separado.

O estudo tem em conta 3 impactos diferentes: energia final, energia primária e emissões ao longo de 6 cenários.

Os cenários tiveram como variável o número de quilómetros percorridos, vários mix energéticos e a troca integral da bateria. De seguida apresenta-se os vários cenários criados.

- **Cenário 1, 2 e 3**

Nestes cenários pretende-se comparar os impactos para várias distâncias percorridas não alterando o mix energético ao longo destes 3 cenários. O mix de produção de energia utilizado é o mix português de 2018.

Visto que não se pode considerar a vida útil de um veículo, uma vez que esta depende do tempo que o utilizador pretende investir na sua reparação, consideramos diferentes distâncias.

O primeiro cenário é simulado para uma distância de 9 000 km correspondente à média percorrida por um condutor português anualmente [34]. Com esta análise podemos observar qual o impacto dos veículos no primeiro ano.

No segundo cenário será utilizado um valor de 75 000 km que representa cerca de metade da vida útil da bateria segundo as garantias dos fabricantes.

No terceiro cenário será simulado para uma distância de 150 000 km sendo que os fabricantes dos automóveis oferecem uma garantia das suas baterias entre os 100 000 km e os 200 000 km, dependendo dos fabricantes [35].

- **Cenário 4 e 5**

Nestes cenários é analisado o impacto do mix energético. Com esta análise pretendemos observar o impacto da penetração das renováveis e assim compreender se deve continuar a existir investimento na sua introdução. Para tal, irá ser utilizada uma distância percorrida fixa de 150 000 km para se perceber o impacto do mix em relação ao cenário 3. No cenário 4 é utilizado o mix de produção onde não existe a produção de energia através de centrais de carvão e em que a produção através de gás é reduzida. No cenário 5 é utilizado o mix energético previsto em Portugal para o ano 2030.

Os valores e os pressupostos do mix energético utilizado em cada cenário é explicado abaixo na secção 4.1.1 na produção de energia elétrica.

- **Cenário 6**

Neste cenário será analisado o impacto aquando da troca total da bateria do automóvel, visto que é um dos elementos de peso na produção de um EV. Vamos utilizar uma distância de 150 000 km e o mix energético português de 2018.

Na tabela 4.2 exibe-se um resumo das variáveis dos vários cenários.

Tabela 4.2. Resumo dos cenários para a análise

Cenário	Distância	Mix energético	Troca de bateria
1	9 000	Ano 2018	Não
2	75 000	Ano 2018	Não
3	150 000	Ano 2018	Não
4	150 000	Sem carvão	Não
5	150 000	Ano 2030	Não
6	150 000	Ano 2018	Sim

Para a realização desta análise comparam-se os BEV's, PHEV's e os ICE's divididos pelos seus segmentos comerciais. Os veículos usados para os cálculos necessários foram selecionados tendo em conta os 10 veículos mais vendidos na Europa. As características escolhidas na análise foram a marca, o modelo, o consumo de combustível (l/km) e consumo elétrico (kWh/km), a capacidade da bateria (kWh), a emissão na fase de uso do ICE (gCO₂/km), o peso total do veículo (kg), o comprimento (mm) e o segmento comercial à qual pertence o modelo (tabela b.13).

Todos estes dados usados foram obtidos nas fichas técnicas dos veículos disponibilizadas pelos fabricantes dos modelos. A título de exemplo podemos observar a

figura 4.18 que representa um excerto da ficha técnica ambiental do e-golf[36] onde são apresentados alguns dos dados necessários para o estudo.

<p>1 e-Golf (85 kW) Comb. 12.7 kWh/100 km; CO₂: 0 g/km; Energy efficiency class A+</p>	<p>3 Golf VII 1.2 TSI (63 kW) BlueMotion Technology Urban: 5.9 l/100 km Highway: 4.2 l/100 km Comb.: 4.9 l/100 km; CO₂ comb.: 113 g/km; Energy efficiency class B</p>
<p>2 e-up! (60 kW) Comb. 11.7 kWh/100 km; CO₂: 0 g/km; Energy efficiency class A+</p>	<p>4 Golf VII 1.6 TDI (77 kW) BlueMotion Technology Urban: 4.6 l/100 km Highway: 3.3 l/100 km Comb.: 3.8 l/100 km; CO₂ comb.: 99 g/km; Energy efficiency class A</p>

Figura 4.18. Dados fornecidos pela VW [36].

Através de todos os dados recolhidos e apresentados na tabela a.12 foram calculadas as médias dos valores necessários para realizar o estudo resultando na tabela 4.3.

Tabela 4.3. Resumo de valores utilizados na análise por segmento e veículo.

Segmento	Veículo	Consumo combustível (l/100 km)	Consumo eletricidade (kWh/100 km)	Capacidade bateria (kWh)	Co2 (g/km)	Peso (kg)
B	BEV	0	13,17	27,07	0	1372,33
	ICE	5,16	0	0	117,66	
C	BEV	0	14,12	39,6	0	1720
	ICE	5,5	0	0	124	
	PHEV	2	13,65	9	46	
D	BEV	0	19,8	70	0	1770
	ICE	5,7	0	0	131,5	
	PHEV	1,76	11,26	9,2	41	
E	BEV	0	19,36	75	0	1870
	ICE	6,7	0	0	157	
	PHEV	2,7	15,4	8,35	63,5	
	PHEV d	1,8	19	17,3	48	
F	PHEV	2,46	17,06	11,6	56,33	1892,5
	ICE	8,65	0	0	199,5	

Como podemos observar na tabela 4.3 os valores fornecidos são unicamente valores que representam os consumos e as emissões diretas do veículo no momento da

condução. Neste estudo além desses consumos e emissões na fase de uso, também serão incluídas as emissões e consumos de energia primária e consumos energéticos, necessários para a produção de energia elétrica e de combustível para o uso do veículo representado na figura 4.17 pelo ciclo de energia.

Como a cadeia de produção é indeterminada, definiu-se fronteiras do ciclo de energia e do ciclo de veículos para os diversos veículos comparados com o auxílio das referências [37], [38].

As fronteiras da produção do veículo são transversais ao BEV, PHEV e ICE. Relativamente ao ciclo de energia não se pode considerar as mesmas visto que, os diferentes veículos usam diferentes combustíveis.

Para o caso dos ICE's que usam gasolina como combustível, as fronteiras do sistema estão representadas na figura 4.19.

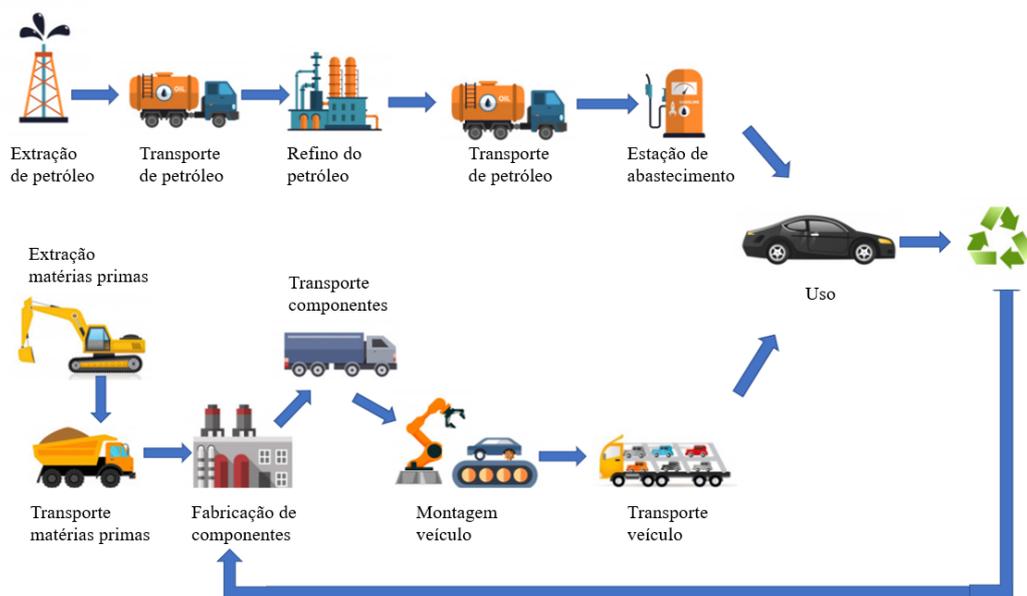


Figura 4.19. Fronteiras do ICE

Na figura 4.20 estão representadas as fronteiras dos BEV's. Este veículo é alimentado unicamente através de energia elétrica, como referido no capítulo 3.

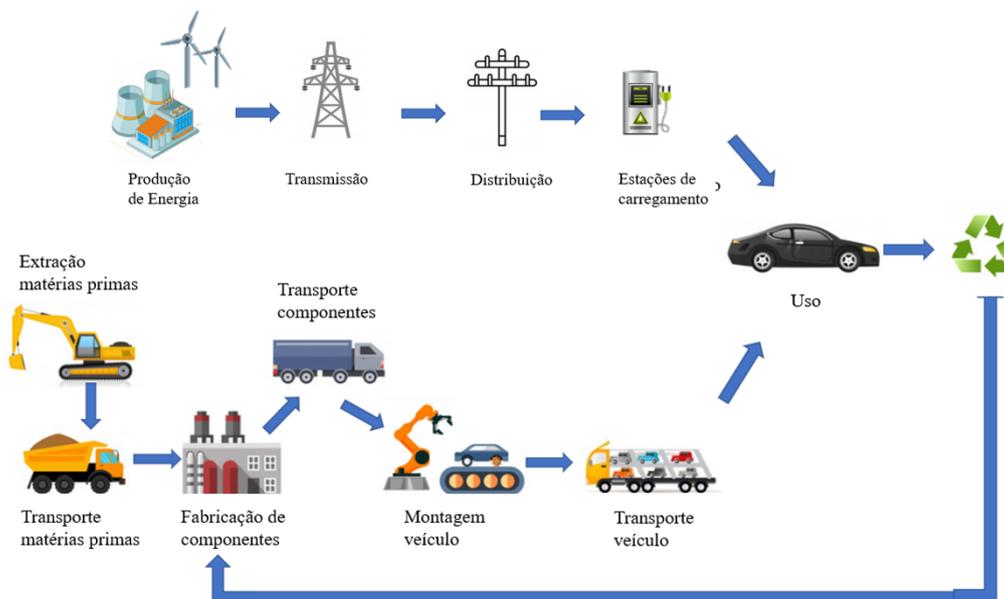


Figura 4.20. Fronteiras do BEV

O PHEV considera as fronteiras do ciclo de energia de um BEV e de um ICE visto que o combustível para este tipo de automóvel é a gasolina e a energia elétrica, como se pode observar na figura 4.21.

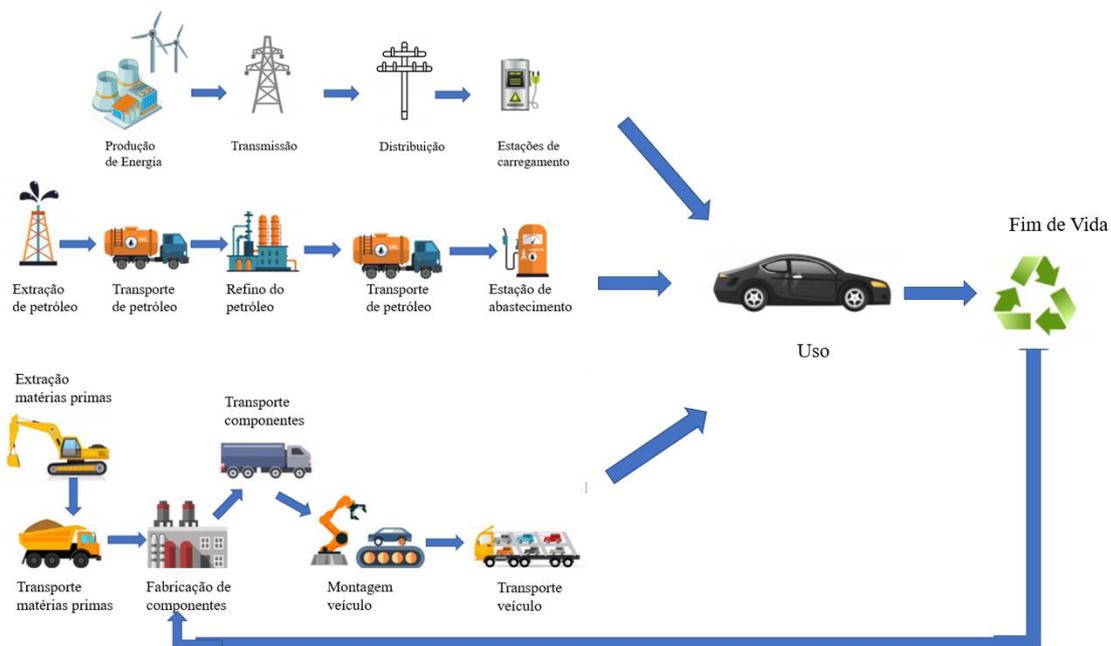


Figura 4.21. Fronteiras do PHEV

4.1.1. Inventário do ciclo de vida

Para o cálculo dos valores utilizados na análise foi necessário estudar todas as etapas do ciclo. Dessa forma começamos por analisar a etapa da fase da produção de todos os elementos presentes nas fronteiras do sistema.

- **Produção da gasolina**

Relativamente à produção da gasolina foram utilizados os dados referidos em [39], onde foram incluídas as seguintes etapas: extração e transporte do petróleo, a refinação deste e o transporte da gasolina da refinaria até à estação de abastecimento público. Estas etapas estão representadas na figura 4.22.

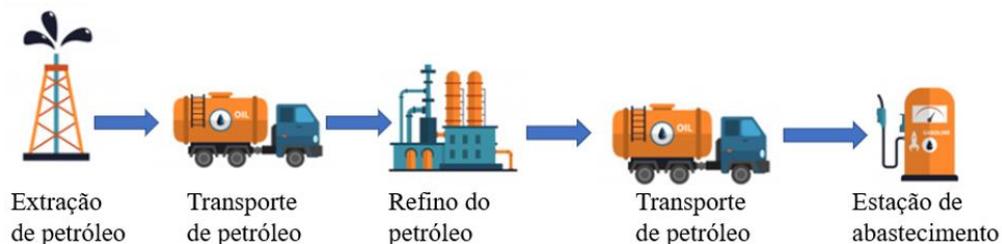


Figura 4.22. Etapas de produção da gasolina.

Nesta etapa foram consideradas as emissões e a energia necessária para a produção de 1 litro de gasolina. Também se analisou a quantidade de energia contida em 1 litro de gasolina e a energia primária utilizada para produzir 1 litro. A gasolina considerada para os cálculos é a que possui 98 octanas. Conforme o local de produção, a mistura presente na gasolina é diferente e desta forma estes valores são valores médios das referências [38],[39],[40],[41].

Os dados usados nesta dissertação na produção de 1l de gasolina são os apresentados na tabela 4.4.

Tabela 4.4. Dados de 1 litro de gasolina 98

Emissões na produção	0,52 kg CO ₂ /l
Energia necessária para a produção	0,66 kWh/l
Energia primária utilizada para a produção	14,94 kWh/l
Energia contida	18,19 kWh/l

- **Produção de eletricidade**

As etapas de produção de eletricidade consideradas na análise estão representadas na figura 4.23.

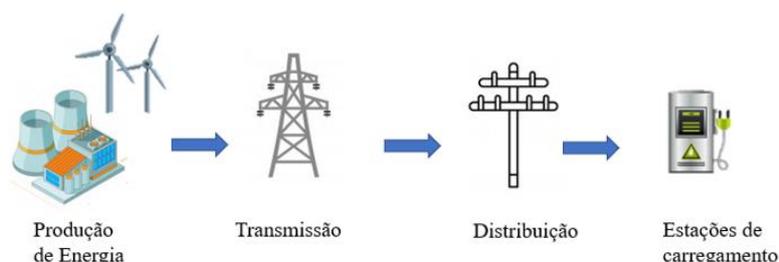


Figura 4.23. Etapas de produção de eletricidade

Estas etapas têm perdas ao longo dos processos de transformação de energia até esta chegar à bateria do EV. Assume-se, para efeitos de cálculos, que existem perdas na rede de transmissão, distribuição e também no carregamento das baterias.

O plano nacional de energia e clima do ano 2030 [42] apresenta a evolução da produção de eletricidade no horizonte 2030. Na tabela 4.5 estão apresentados os valores médios por fonte utilizados.

Tabela 4.5. Contribuição por fonte no ano 2030

Fonte	Penetração
Carvão	7%
Gás Natural	3%
Hídrica	26%
Eólica	34%
Biomassa	2%
Solar	24%
Cogeração Fóssil	0%
Geotermia	4%
Fuel e Gasóleo	0%
Nuclear	0%

Além do mix energético do ano de 2018 e 2030, também se criou um mix energético para um cenário onde não exista produção através de carvão e havia pouca produção através de gás natural.

Os valores utilizados estão presentes na tabela 4.6.

Tabela 4.6. Contribuição por fonte no cenário sem carvão

Fonte	Penetração
Carvão	0%
Gás Natural	2%
Hídrica	33%
Eólica	35%
Biomassa	2%
Solar	24%
Cogeração Fóssil	0%
Geotermia	4%
Fuel e Gasóleo	0%
Nuclear	0%

As emissões do mix energético são calculadas através de uma fórmula desenvolvida no Microsoft Excel que a partir da percentagem de contribuição e dos fatores de emissões[43],[44] das respetivas fontes, dá-nos o resultado do valor de emissões em kg/kWh, como exemplificado na figura 4.24. Com a introdução das fontes também foi possível calcular a quantidade de energia primária necessária para produzir 1 kWh, utilizando os valores dos fatores de energia primária (PEF) para a eletricidade mencionadas em [45] e [46]. Na figura 4.24 são apresentados os respetivos valores exemplificando o ambiente de cálculo com os valores do mix energético nacional do ano 2018.

Emissões mix energético				PEF	
Fonte de energia	Penetração	Fator de emissão ((kgCO2eq/kwh)	Contribuição	PEF	Contribuição
Carvão	19,60%	0,820	0,161	2,8	0,5488
Gás Natural	18,10%	0,490	0,089	2,8	0,5068
Hídrica	23,70%	0,024	0,006	1,1	0,2607
Eólica	22,00%	0,011	0,002	1,1	0,242
Biomassa	5,00%	0,230	0,012	1,1	0,055
Solar	1,50%	0,048	0,001	1,1	0,0165
Cogeração Fóssil	8,10%	0,268	0,022	3,4	0,2754
Geotermia	0,40%	0,038	0,000	3,4	0,0136
Fuel e Gasóleo	1,60%	0,280	0,004	2,8	0,0448
Nuclear	0,00%	0,012	0,000	2,8	0
Total	100,00%		0,296		1,9636

Figura 4.24. Valores do fator de emissão e PEF por fonte de energia e respetivo cálculo

Todos os valores de emissões e de energia primária necessária para produzir energia elétrica calculados para os vários mix de energia considerados são apresentados na tabela 4.7.

Tabela 4.7. Dados para produção de eletricidade

Emissões no mix português 2018	0,296 KgCO ₂ /kWh [47]
Emissões no mix português 2030	0,100 KgCO ₂ /kWh
Emissões mix sem carvão	0,039 KgCO ₂ /kWh
Perdas de transmissão	1,34% [48]
Perdas de distribuição	9,8% [49]
Perdas no carregamento	10% [50]
Fator de energia primária necessária no mix português 2018	1,96
Fator de energia primária necessária no mix português 2030	1,362
Fator de energia primária necessária no mix sem carvão	1,226

- **Produção do veículo**

Relativamente à produção dos veículos assume-se que os processos são transversais a todos os veículos, considerando assim que os processos são iguais. Os PHEV e os BEV possuem o excedente da produção da bateria. As etapas da produção estão representadas na figura 4.25.

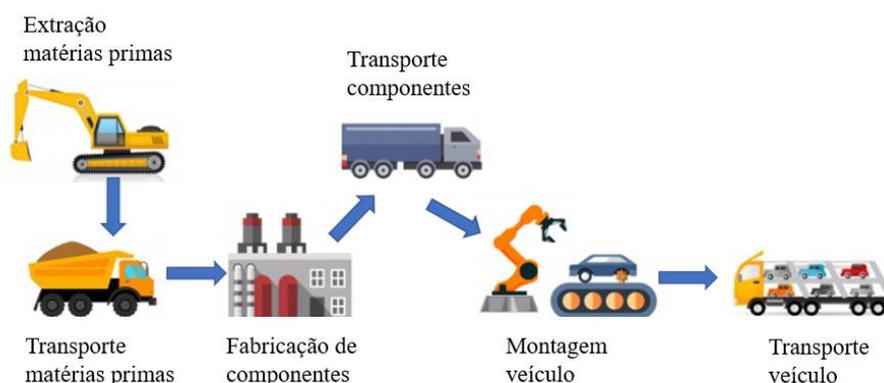


Figura 4.25. Etapas de produção do veículo

Como se observa na figura 4.25 assume-se na produção do veículo as etapas desde a extração de matérias primas até ao transporte para os utilizadores. Na tabela 4.8 são apresentados os dados para a produção de 1kg do veículo.

Tabela 4.8. Dados para a produção de 1kg de veículo

Emissões	4,5 kg CO ₂ /kg [51]
Energia para a produção	19.17 kWh/kg [51]

- **Produção da bateria de iões de lítio**

Uma das preocupações ambientais no EV é o impacto das baterias. Após a análise de vários estudos e catálogos elaborados pelos fabricantes de veículos acerca das características dos veículos considerou-se as mesmas propriedades existentes na bateria para o PHEV e para o BEV, ou seja, apesar das baterias de iões de lítio das variadas marcas possuírem propriedades eletroquímicas um pouco diferentes, por questões de simplificação de cálculo, assumiu-se um só tipo. O tipo de bateria que foi assumido nesta dissertação é a mesma do veículo Mercedes GLE 500e 4Matic.

Tabela 4.9. Dados para a produção de 1kWh de bateria de iões de lítio

Emissões	247,1 kg CO ₂ /kWh [52]
Energia para a produção	1402,78 kWh/kWh [52]

Assim, já estão apresentados todos os valores incluídos na análise para efeitos de cálculo.

Na fase de produção do veículo, para efeito de cálculos para a análise, foi unicamente incluído o valor da produção do veículo usando o valor médio do peso do veículo por segmento e os valores de produção da bateria através dos valores médios de capacidade no caso dos EV's.

Etapa do uso

Nesta etapa teve-se em consideração as matrizes de produção de energia elétrica em Portugal, os consumos médios dos veículos por segmento e tecnologia. Assim sendo, nesta fase foi incluído o impacto da produção de combustível e da produção da energia elétrica associada a cada veículo estudado em cada segmento. Para tal, observa-se na tabela 4.3 os valores médios de consumo de combustível e de eletricidade para cada veículo em cada segmento.

Etapa de fim de vida

Visto que o objetivo desta análise é a comparação de veículos entre várias tecnologias e entre diversos segmentos, nesta etapa segundo estudos usados consideram que o valor que iria diferenciar seria a reciclagem da bateria. Segundo várias referências [53],[54],[55] a reciclagem de baterias ainda está num processo de estudo. Vários fabricantes de automóveis elétricos estão a desenvolver locais e processos para tal, como por exemplo a Volkswagen[56]. As baterias dos automóveis elétricos, apesar de já não terem autonomia suficiente para os automóveis, estão em bom funcionamento para uma “segunda vida”, por exemplo para armazenamento estático em edifícios, prolongando assim a sua vida útil. Consequentemente, nesta dissertação não se considerou a fase da reciclagem, visto que não temos nem valores credíveis de gastos nem valores de crédito.

4.1.2. Interpretação

- **Cenário 1**

Este primeiro cenário está representado na figura 4.26, figura 4.27 e figura 4.28 correspondendo à energia, à energia primária e às emissões, respetivamente. Na figura 4.29 estão representados os valores totais dos três fatores analisados.

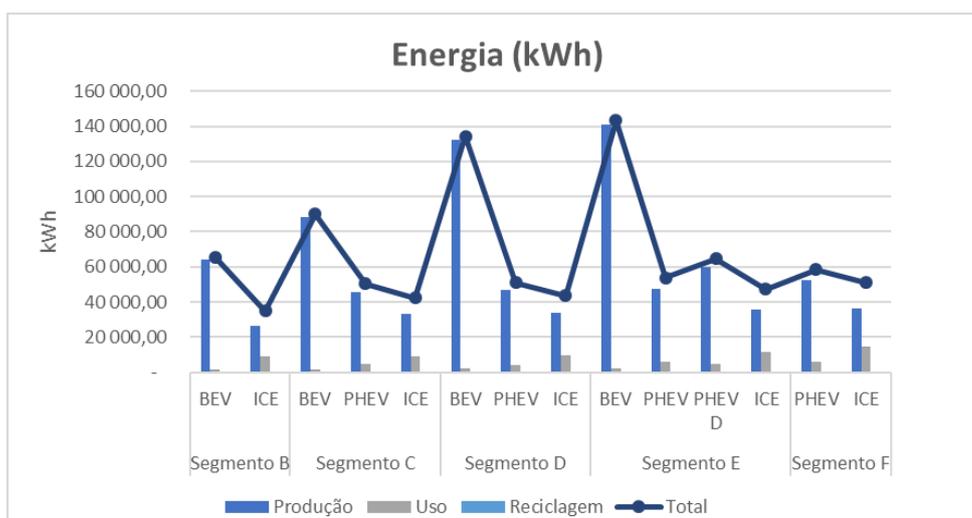


Figura 4.26. Valores de energia do cenário 1

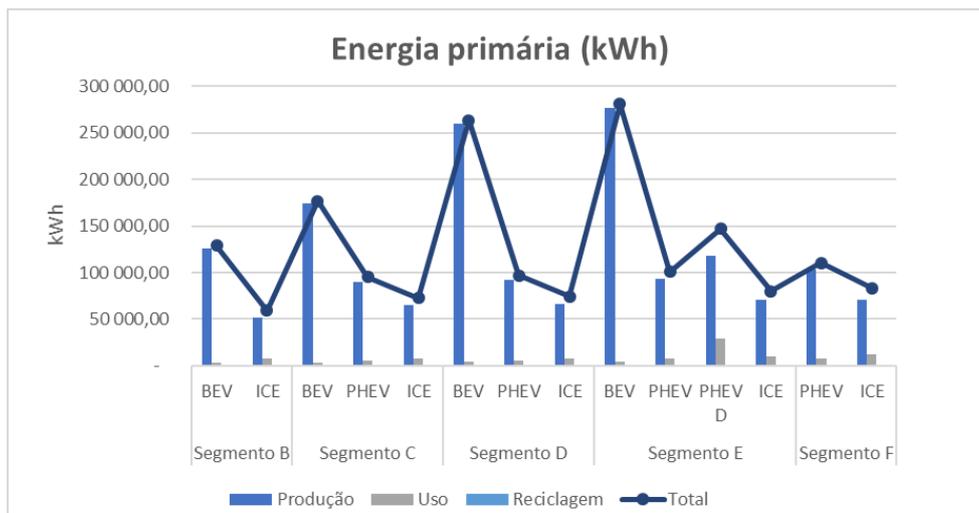


Figura 4.27. Valores energia primária do cenário 1

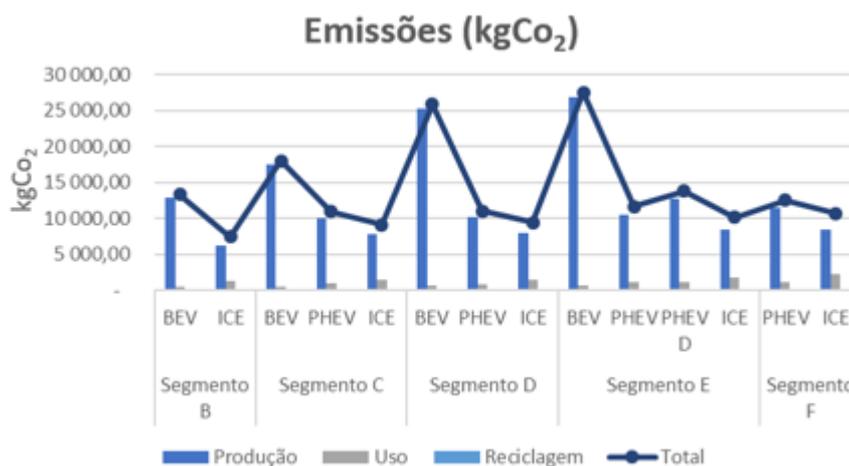


Figura 4.28. Valores das emissões do cenário 1

Neste cenário para condução durante 9 000 km observa-se na figura 4.26, figura 4.27 e figura 4.28 que a produção possui os valores mais elevados para os três fatores analisados. Os valores mais elevados de produção são dos BEV, uma vez que a bateria é o elemento que mais consome energia e origina mais emissões na produção. Segue-se o PHEV, visto que também possui uma bateria, mas com menor capacidade. Também se observa que, quanto mais elevado é o segmento, maiores são os valores pois quanto maior é o segmento maior é a capacidade das baterias e também maior é o peso dos automóveis. No segmento E existe o caso particular do PHEV D, que quando comparado com o PHEV observa-se que o valor de produção é mais elevado devido à bateria ter maior capacidade. Porém, quando observamos os valores de energia primária na fase de uso o PHEV D possui valores mais

elevados, apesar de ter consumos mais baixos de combustível, devido ao facto de ser necessário mais petróleo para produzir a mesma quantidade de diesel em relação à gasolina.

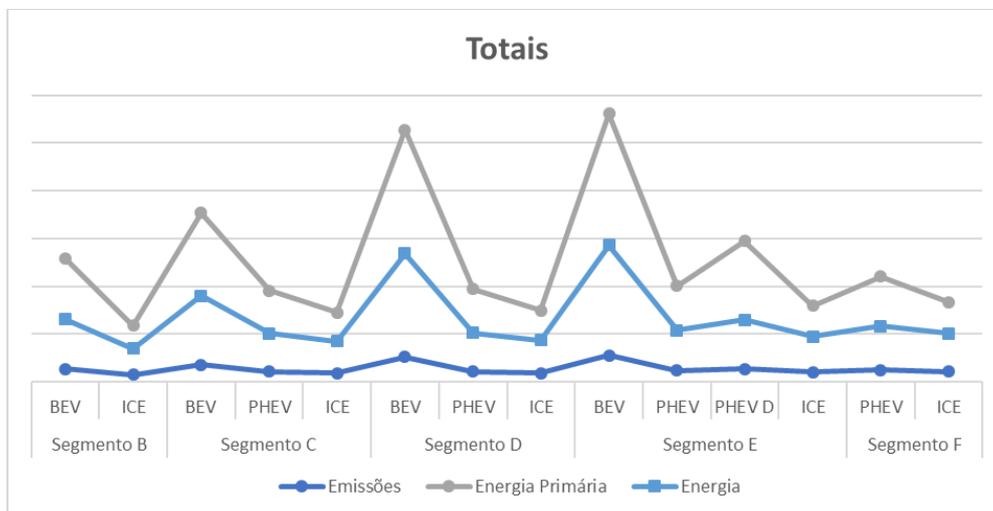


Figura 4.29. Resumo dos valores totais do cenário 1.

Com a figura 4.29 consegue-se observar que os totais da energia, energia primária e emissões tem valores mais elevados nos BEV, visto que, os valores da produção são elevados e a fase de uso ter um valor insignificante quando simulado para uma baixa distância percorrida.

- **Cenário 2**

Neste cenário os valores da produção vão manter-se inalterados visto que não dependem dos quilómetros percorridos. Desta forma pode-se observar o impacto da fase de uso a partir da figura 4.30, figura 4.31, figura 4.32 e a figura 4.33.

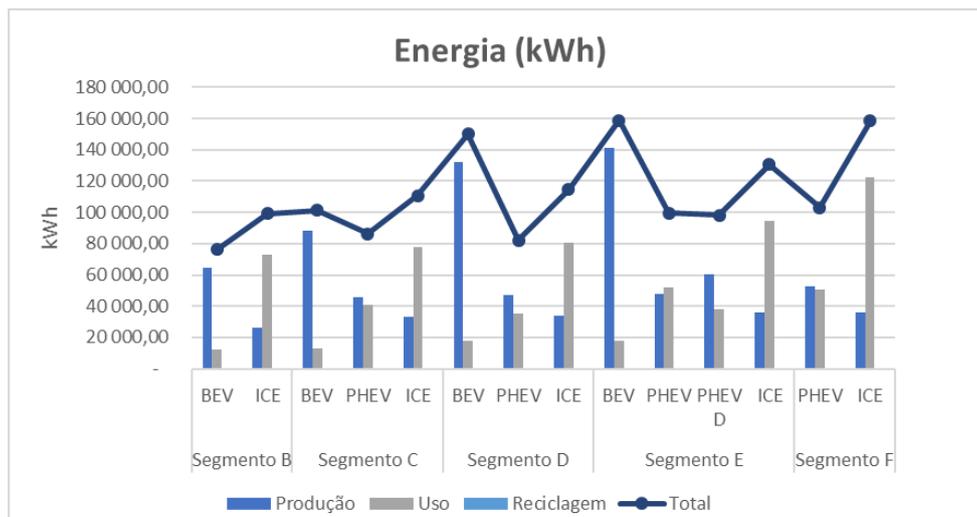


Figura 4.30. Valores de energia do cenário 2

Através da figura 4.30 constata-se que a produção não é a fase com maior impacto em todos os segmentos e para todos os veículos. No caso do veículo BEV a produção continua a ser a fase com maior consumo de energia, porque na fase de uso o consumo por quilómetro é baixo.

No segmento B e C o ICE consome mais energia no total em comparação com o veículo BEV, o que não acontecia no cenário 1. Nos segmentos D e E devido à capacidade elevada das baterias, a tecnologia ICE continua a exigir menos energia. Para o veículo PHEV a energia na fase de produção é idêntica à energia na fase de uso. No segmento E e para o caso particular do PHEV D, em comparação com o PHEV, apresentam valores muito idênticos.

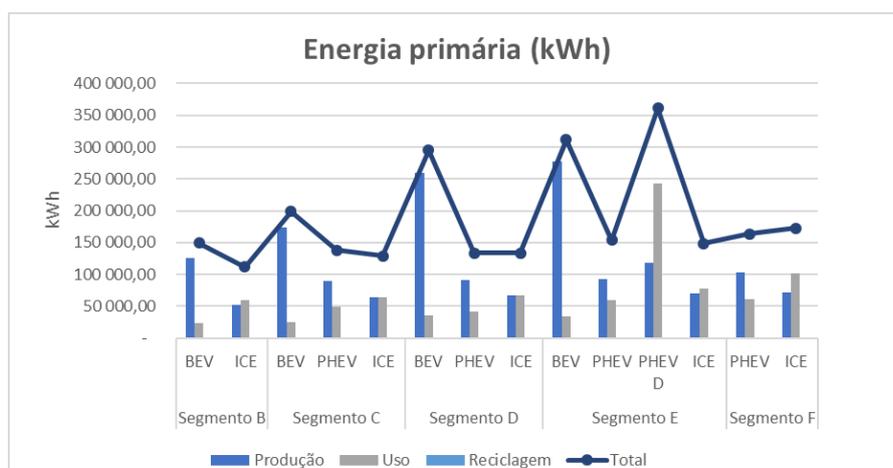


Figura 4.31. Valores de energia primária do cenário 2

Quando comparados os valores de energia primária entre o cenário 1 e o cenário 2, os veículos que mais consumiam energia primária continuam os mesmos no cenário 2. Contudo, as diferenças são menos acentuadas, excluindo no segmento F. Neste cenário o ICE tem um valor mais elevado que o PHEV.

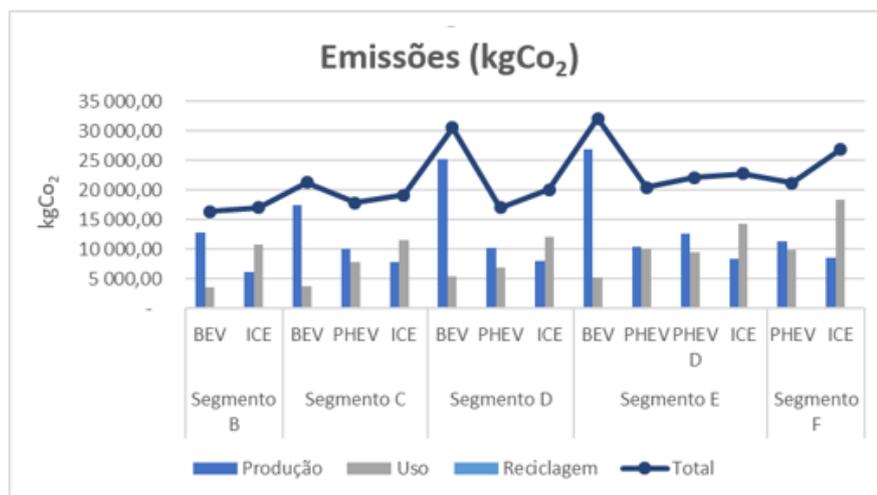


Figura 4.32. Valores das emissões para o cenário 2

Neste cenário observa-se um incremento dos valores nas emissões na fase de uso dos ICE, ultrapassando os valores do mesmo na fase de produção ao longo de todos os segmentos. No veículo BEV não existe uma subida tão acentuada devido ao consumo baixo e ao facto do mix energético ser pouco poluente. Excluindo o segmento B, o veículo existente nos BEV's continua a ser o veículo com maior valor de emissões. Ao longo de todos os segmentos, os ICE's têm maior valor de emissões do que os PHEV's.

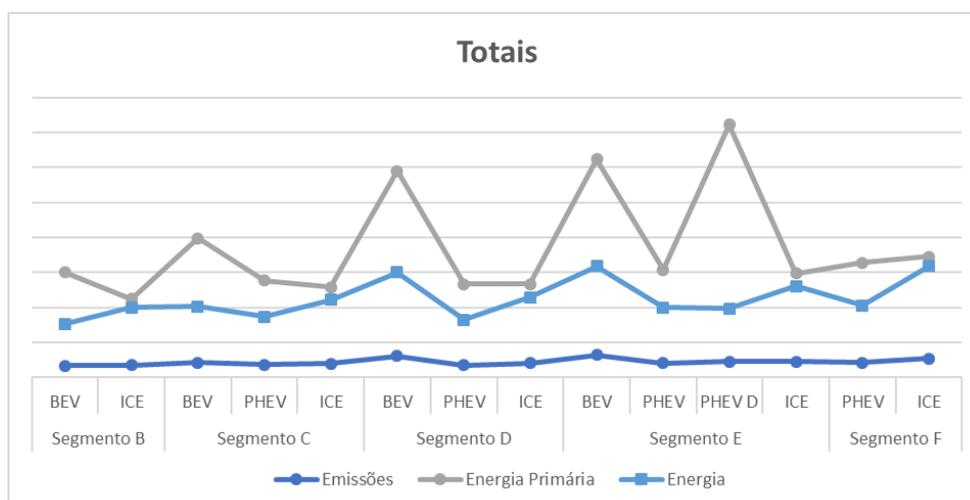


Figura 4.33. Resumo dos valores totais do cenário 2

Observando-se agora a figura 4.33, onde estão presentes unicamente os valores totais das fases de produção e uso, compreende-se que o veículo BEV tem, num modo geral, os valores mais elevados em todos os indicadores. Percebe-se também que em relação ao primeiro cenário a diferença entre veículos é menor. De frisar que nestes quilómetros percorridos o veículo BEV compensa unicamente em termos de energia e energia primária nos segmentos mais baixos.

- **Cenário 3**

À semelhança do cenário 2 os valores de produção mantêm-se inalterados. Neste cenário vai ser mais esclarecido o impacto da fase de uso.

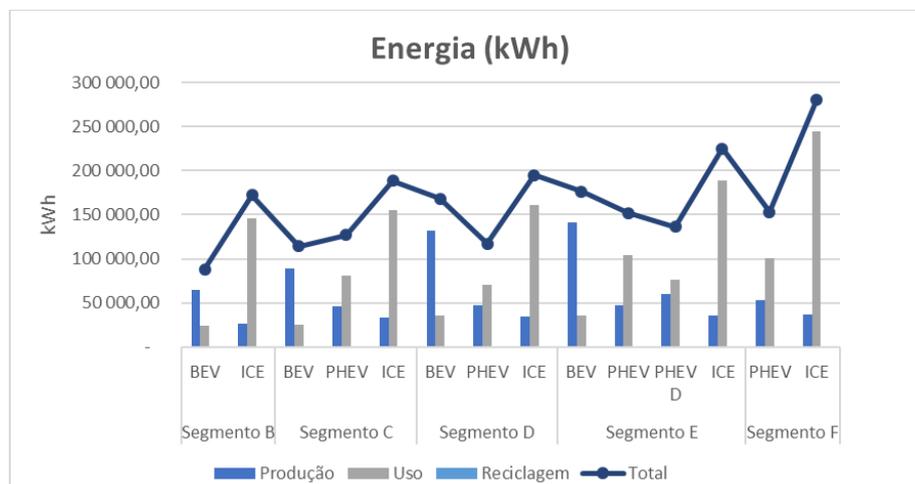


Figura 4.34. Valores de energia do cenário 3

Neste cenário inverte-se a tendência do BEV ser o veículo com maior consumo de energia visto que, ao fim de percorrer 150 000 quilómetros, é o veículo com menor consumo em relação aos ICE's. Isto deve-se à muita energia incorporada na gasolina. No segmento D a F os PHEV's tem uma prestação mais favorável em detrimento dos outros veículos.

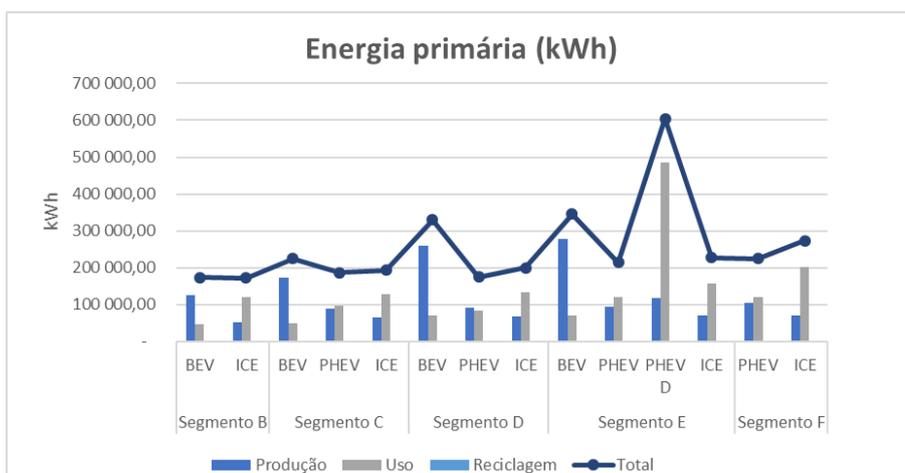


Figura 4.35. Valores da energia primária do cenário 3

Na figura 4.35 destaca-se o veículo PHEV D presente no segmento E pelo seu valor elevado. Como já foi referido, este valor deve-se à quantidade elevada de energia primária presente num litro de diesel. Nos BEV's a energia para a produção continua a ser superior, levando a que a energia primária seja superior em relação a todos os outros veículos em todos os segmentos.

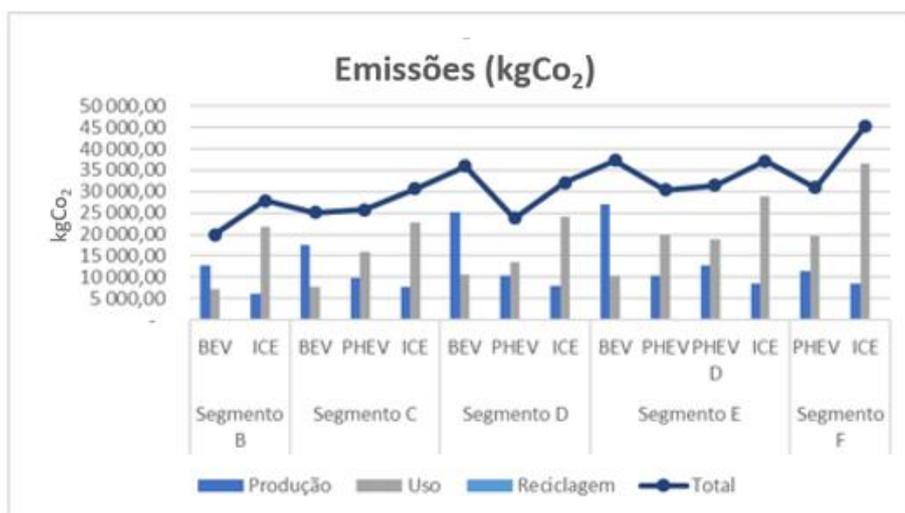


Figura 4.36. Emissões para o cenário 3

Em relação às emissões, em todos os veículos que utilizam gasolina ou diesel, as emissões na fase de uso ultrapassam as emissões da produção. Apesar desses veículos possuírem emissões elevadas na fase de uso, os BEV unicamente possuem valores inferiores no total nos segmentos B e C. De um modo geral, o PHEV é o veículo com menor valor de emissões.

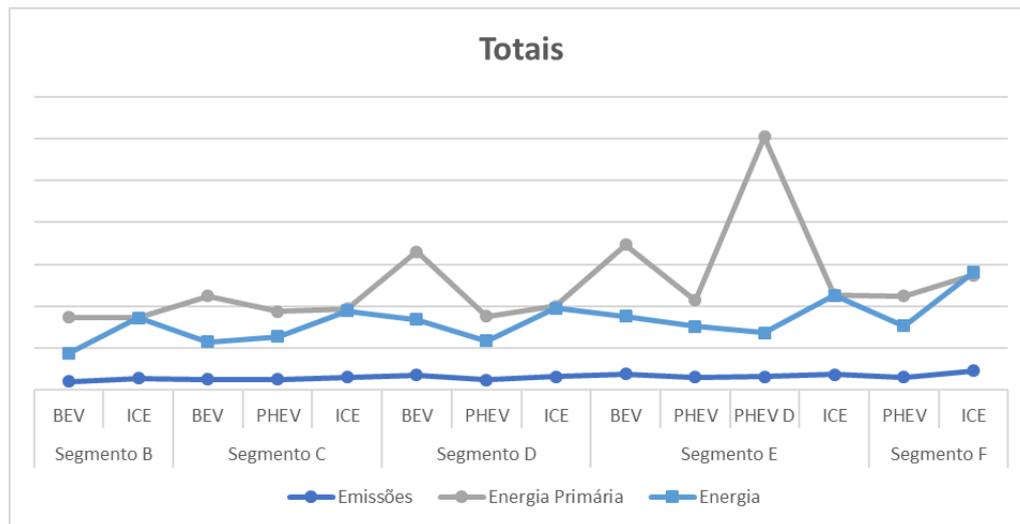


Figura 4.37. Resumo dos valores totais do cenário 3

Na análise destes 3 cenários compreendemos que as curvas ao longo dos quilómetros se tornam mais constantes. Isso justifica-se já que, para o caso dos BEV's, quanto maior for a distância mais os valores da fase de uso se aproximam dos valores da fase de produção contribuindo para de certa forma mitigar um pouco o efeito preponderante da produção neste tipo de veículos. Por outro lado, nos outros veículos a fase de uso é elevada em relação à fase de uso dos BEV's e, portanto, à medida que a distância viajada aumenta as curvas representando os totais (energia, energia primária e emissões) têm tendência a tornar-se menos irregulares.

- **Cenário 4 e cenário 5**

Nestes dois cenários faz-se a observação unicamente para as emissões e para a energia primária, pelo facto de serem os únicos fatores impactados pela contribuição de diversas fontes de energia renovável, na matriz de produção de energia. Estes valores vão ser comparados com os valores do mix energético atual, ou seja, incluindo-se os valores das emissões do cenário 3 em que é utilizado os valores do mix de produção de energia elétrica do ano de 2018 e a distância de 150 000 km.

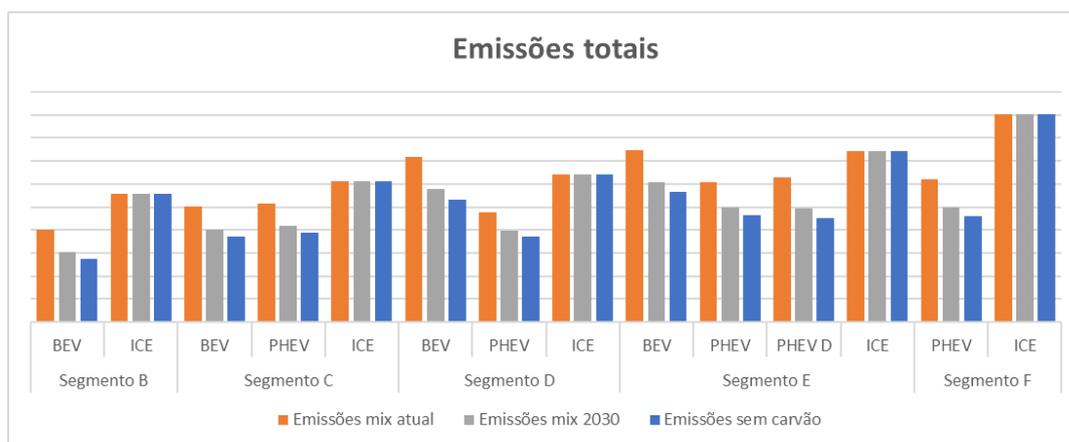


Figura 4.38. Resumo dos valores totais de emissões do cenário 3, 4 e 5

Os valores das emissões dos ICE's mantêm-se inalterados ao longo dos vários cenários através da produção de energia, visto que não se considera alteração do mix energético nos países de produção dos vários componentes para o veículo. Também não é alterado o mix no país onde são produzidos o diesel e a gasolina assim como não se considera a evolução da eficiência dos veículos ao longo dos anos.

Através da observação da figura 4.38 e como seria de esperar verifica-se que o mix tem impacto significativo nas emissões ao longo do ciclo de vida.

No cenário 3 percebeu-se que no segmento B e C, com o mix atual, os BEV's tinham uma melhor performance em termos de emissões, o que não acontecia nos restantes segmentos. Nos segmentos D e E, quando fazemos a transição para um mix com maior contribuição de fontes de energia renovável, constata-se que o BEV, ao fim de percorrer 150 000 quilómetros, produz menor volume de emissões do que o ICE.

Assim, podemos concluir que para que a eletrificação dos veículos seja menos poluente do que a tecnologia de combustão é necessário investir nas fontes de energia renovável. Tal reforça a ideia de que as políticas energéticas dos países devem acautelar os dois vetores de atuação, o que aliás já acontece em muitos países.

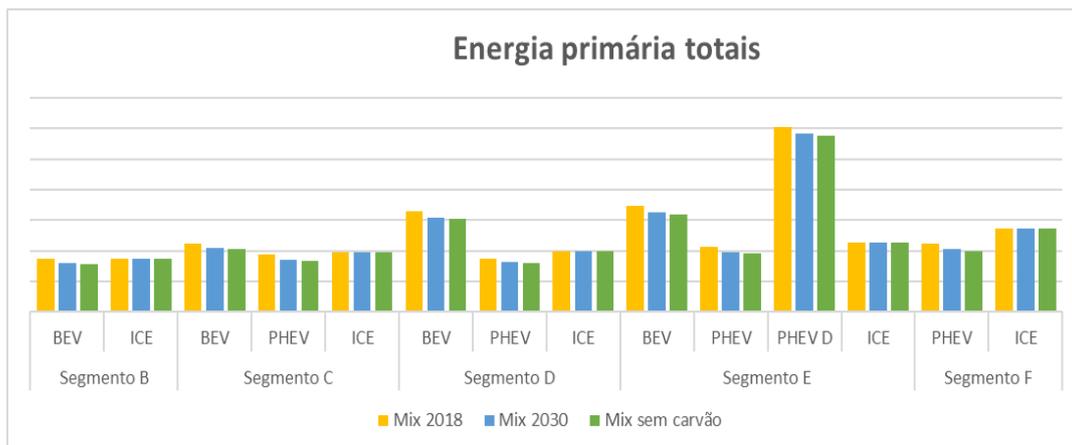


Figura 4.39. Resumo dos valores totais de energia primária do cenário 3, 4 e 5

À semelhança dos totais dos valores de emissões, os valores dos ICE's mantêm-se inalterados ao longo dos vários cenários pelas mesmas razões.

Na observação da figura 4.39 concluímos que os valores de energia primária não variam de forma significativa ao longo dos vários mixes energéticos. Tal reforça a ideia de que o investimento em fontes de energia renovável deve ser adequadamente ponderado, sobretudo se tiver como objetivo único a diminuição do consumo de energia primária.

- **Cenário 6**

Na sequência dos cenários anteriores percebe-se que a bateria é um elemento importante para os consumos de energia e valores de emissões na fase de produção. Nesse sentido, fez-se uma análise para o caso de ser necessário efetuar a troca total da bateria aos 150 000 km. Os valores dos ICE's são os mesmos valores que no cenário 3 visto que estes não possuem bateria para tração do veículo. Os únicos valores que sofrem alterações serão os da fase de produção.

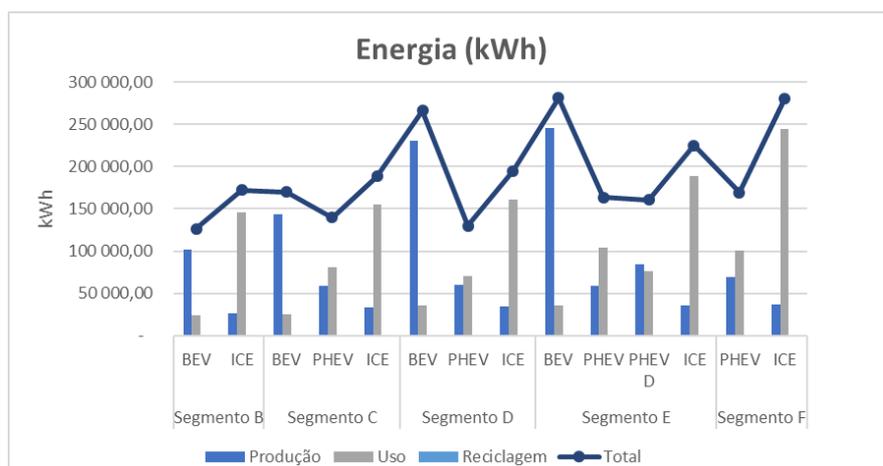


Figura 4.40. Valores de energia do cenário 6.

Através da figura 4.40 compreendemos que, para o mix atual, mesmo com troca de bateria no segmento B e C estes veículos continuam a consumir menos energia que o ICE dos mesmos segmentos. Quando falamos de segmentos em que as baterias dos BEV's têm maior capacidade, estes demonstram uma necessidade superior de energia em relação a todos os outros veículos. Quando comparamos o cenário 3 com este presente cenário no segmento E, observamos que no cenário 3 o ICE tinha um consumo superior de energia em relação ao BEV, o que já não acontece quando se introduz uma segunda bateria. Os PHEV's, mesmo possuindo bateria, são os veículos com menor consumo de energia visto que estas possuem baterias de baixa capacidade.

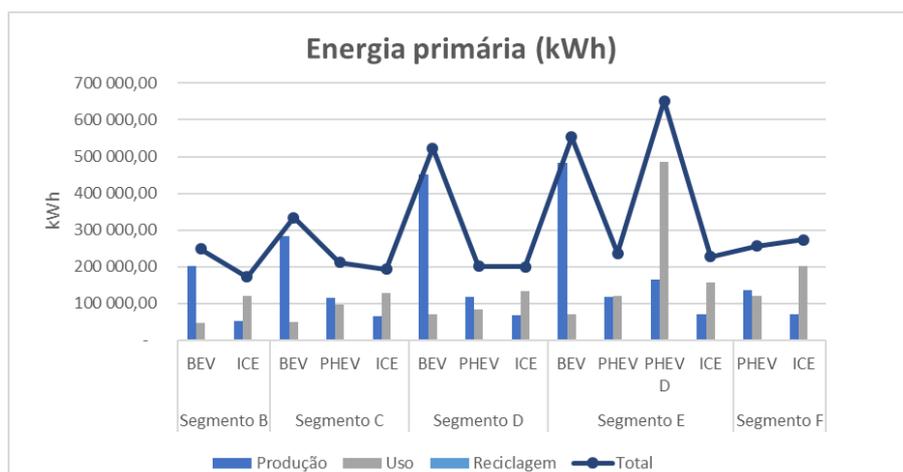


Figura 4.41. Energia primária para o cenário 6

Contrariamente ao cenário 3, neste cenário temos não apenas um, mas três pontos de destaque em termos de consumo de energia primária (figura 4.41). Continua-se

com o PHEV D como o maior consumidor de energia primária, mas tendo os BEV's no segmento D e E com valor também elevado.

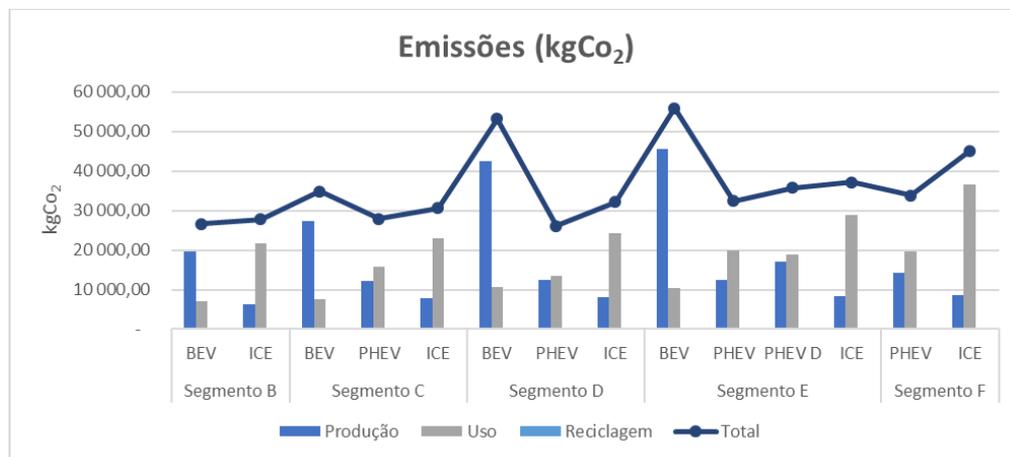


Figura 4.42. Valores das emissões do cenário 6

A figura 4.42 evidencia as emissões dos BEV's nos segmentos D e E.

No cenário 3 no segmento E o BEV e o ICE possuíam valores de emissões semelhantes, o que já não acontece neste cenário visto que existe a produção da bateria. No segmento B as emissões entre o ICE e o BEV são semelhantes e no segmento C o BEV já ultrapassa as emissões do ICE. Analisando os PHEV's concluímos que mesmo com a troca da bateria continuam a ser um veículo com baixas emissões ao longo de todos os segmentos.

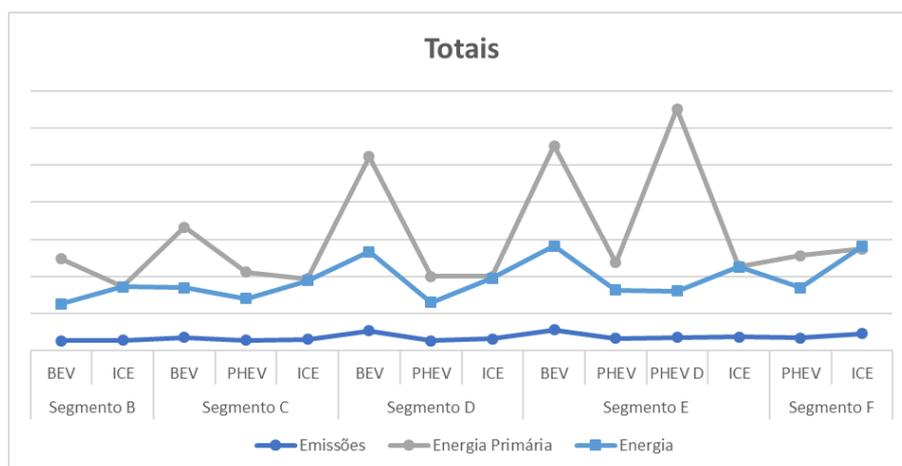


Figura 4.43. Resumo dos valores totais do cenário 6

No que respeita a valores totais (figura 4.43) confirmamos que, no geral, em cada segmento os BEV's são os veículos com valores mais elevados.

Face ao exposto, ao longo desta dissertação constata-se que a investigação científica deve dar resposta às ambições governamentais e às necessidades dos consumidores

para que a construção, uso e desmantelamento dos veículos tenham em vista a minimização do seu impacto ambiental e energético. A investigação deve procurar obter uma maior eficiência na produção das baterias em termos de consumo de energia, menores emissões e otimização das mesmas de forma a prolongar o seu ciclo de vida.

4.2. Análise do custo para o utilizador na fase de uso

- **Descrição**

Esta análise foi realizada com o intuito de perceber, independentemente da diferença do investimento inicial, quais seriam os custos na fase de uso. Isto é, qual o valor gasto unicamente para que o veículo cumpra a sua função. Assim, calcularam-se os custos ao fim de um ano para um condutor típico português, ou seja, ao fim de percorrer 9 000 km. Foram incluídos todos os segmentos e todos os veículos presentes no respetivo segmento, usando o consumo médio combinado de cada veículo. Foram utilizados os valores do ano 2019 e previstos através de regressão linear os valores para 2030, através da tendência de variação dos preços dos anos anteriores (2000-2019), usando uma ferramenta do Microsoft Excel.

Os valores da gasolina, diesel e eletricidade para os anos de 2019 e 2030 estão presentes na tabela 4.10.

Ano	Gasolina	Diesel	Eletricidade
2019	1,66 €/l [57]	1,48 €/l [57]	0,215 €/kWh [58]
2030	2,11 €/l	1,93 €/l	0,3317 €/kWh

Tabela 4.10. Preço da eletricidade e dos combustíveis para 2019 e 2030.

- **Análise e interpretação**

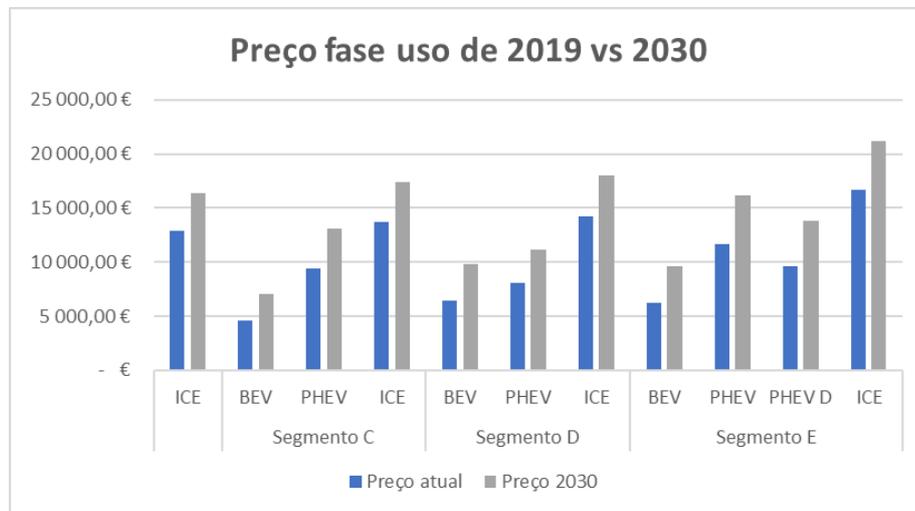


Figura 4.44 Preço na fase de uso no ano de 2019 e 2030.

Visto que se consideraram os consumos dos veículos iguais nos anos analisados, e como a tendência dos preços ao longo dos anos é aumentar, era expetável que o preço na fase de uso fosse mais elevado no ano de 2030. Analisando a figura 4.44 e a Tabela B.13 percebe-se que quanto mais elevado é o segmento maior o custo na fase de uso. É possível observar que a diferença no segmento B entre um ICE e um BEV é de 516,49€, sendo uma diferença de cerca de 0,60€ por quilómetro. Conclui-se que no final de um ano um utilizador com um BEV ou um PHEV tem custos muito inferiores na utilização do que com um ICE.

4.3. Retorno do investimento inicial e das emissões

- **Descrição**

Nesta análise, é calculado ao fim de quantos quilómetros percorridos se obtém o retorno do investimento inicial, com e sem incentivo do governo. Também se calcula o retorno das emissões de CO₂ envolvidas na produção do veículo. O estudo relativo ao retorno do investimento foi realizado tendo em conta que o custo dos veículos com tração elétrica ainda é uma das barreiras à adoção dos EV como tipologia de veículo preferencial dos consumidores. No cálculo do retorno do investimento inicial calculou-se a diferença do investimento, assim como a diferença de custo na fase de uso.

A preocupação ambiental está a aumentar e existe muita discussão acerca das emissões dos VE. Como a produção de um EV tem um valor mais elevado de emissões, mas tem emissões mais baixas na fase de utilização, há possibilidade de se poder calcular o retorno das emissões superiores nos veículos elétricos devido à produção da bateria.

Fez-se a comparação entre veículos com características semelhantes. Os valores apresentados na tabela 4.11 são valores apresentados pelos fabricantes dos respetivos veículos.

Modelo	Veículo	Consumo l/100 km	Consumo kWh/100 km	Preço de compra	CO ₂ kg/km	Custo por km (fase de uso)	KgCO ₂ na produção
Golf	Gasolina	5,5	0	25 856,00 €	0,108	0,09 €	7 740,0
Golf GTE	PHEV	2	13,65	46 661,42 €	0,04	0,06 €	9 491,4
e-Golf	BEV	0	15,37	42 904,00 €	0	0,034 €	15 978,68
ZOE	BEV	0	13,3	34 292,00 €	0	0,029 €	12 199,7
Up!	Gasolina	5,4	0	12 524,00 €	0,123	0,090 €	4 167,0
LEAF	BEV	0	14	35 400,00 €	0	0,031 €	16 994,0

Tabela 4.11. Características dos veículos comparados.

Para efeitos dos resultados apresentados os preços da eletricidade e da gasolina são os que constam no capítulo 4.2. Na fase de uso foram contabilizados os valores das emissões da produção de combustível, assim como os valores de emissões do mix energético do ano de 2018. Os valores de CO₂ utilizados para efeito de cálculo são os mesmos utilizados na produção dos veículos capítulo 4.1.

Nesta análise não se incluem valores de manutenção devido à falta de valores do custo, nem do valor referente a uma eventual troca, total ou parcial, dos módulos da bateria. Os veículos foram comparados em pares semelhantes. Os veículos selecionados para serem comparados entre si foram: Golf com LEAF, UP com ZOE, Golf com e-Golf e o Golf com Golf GTE.

• Resultados e interpretação

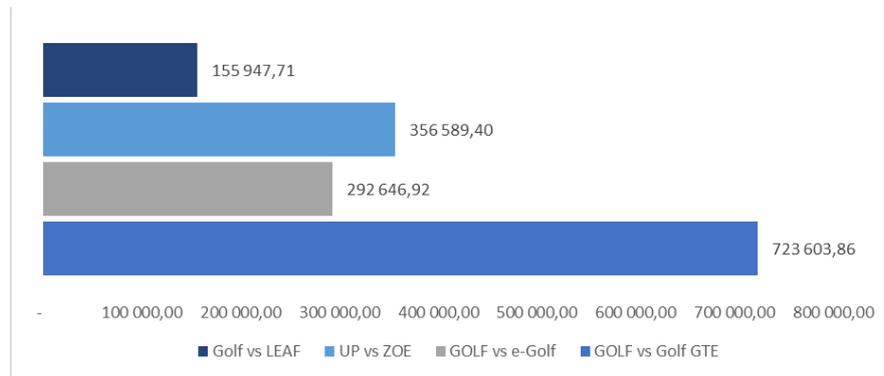


Figura 4.45 Resultado do retorno do investimento inicial sem incentivo do governo

Observa-se na figura 4.45 que o Nissan LEAF, que apesar de ser um veículo de gama mais baixa que um Golf, leva a que o seu preço seja bastante atraente para a compra de um BEV e compensa o investimento inicial a partir dos 155 947, 71 quilómetros percorridos, o que equivale a aproximadamente 17 anos para um condutor médio português. Na comparação entre o golf a gasolina e o e-golf, que é o seu homólogo elétrico, estes veículos possuem a mesma carroçaria, o mesmo nível de equipamento, mesmo conforto e luxo, assim como um *design e acabamentos* muito semelhantes. O retorno do investimento será ao fim de 292 646,92 km o que equivale a cerca de 33 anos. Também se fez uma comparação entre segmentos mais pequenos. Essa comparação é feita entre um Vw Up! e um Renault ZOE. O retorno do investimento é ainda superior relativamente às comparações anteriores, havendo retorno do investimento ao final de 356 589,40 km, ou seja, cerca de 40 anos para um condutor típico português. Sendo os PHEV um tipo de veículo muito apelativo pelas suas vantagens, foi feita a comparação com o seu homólogo a gasolina, o que neste caso se traduz na comparação entre o Golf e o Golf GTE. Neste caso, o retorno do investimento é muito superior às comparações anteriores. O retorno do investimento é ao fim de percorrer 723 646, 86 km o que equivale a cerca de 80 anos. Este retorno de investimento é o mais prolongado, devido ao preço mais elevado de compra em comparação com os outros veículos, assim como o custo da utilização é superior ao custo de um BEV.

Face ao exposto, é possível concluir que o retorno do investimento da compra de um veículo com tração elétrica pode não acontecer na vida útil dos veículos para o caso de um condutor típico português. O retorno do investimento é demorado devido ao facto de a diferença no preço de compra ser elevado e a diferença de custo na utilização não ser muito significativa.

No caso de ser o primeiro veículo com tração elétrica que o utilizador compre, o governo oferece um incentivo no valor de 3 000 €. Com este incentivo o retorno do investimento será obtido num período mais pequeno, como pode observar-se na figura 4.46.

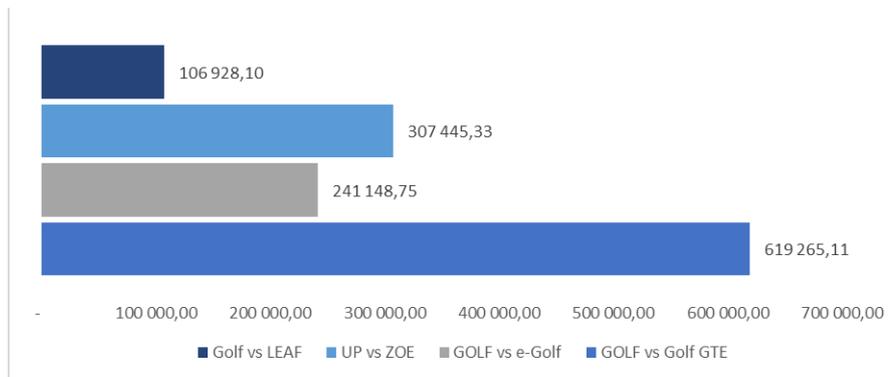


Figura 4.46 Resultado do retorno do investimento inicial com incentivo do governo.

Comparando a figura 4.46 com a figura 4.45 observa-se que existe uma redução de cerca de 50 000 km, ou seja de, cerca de 6 anos no retorno do investimento inicial no caso da comparação entre os ICE's e BEV's. Entre o PHEV e o ICE observa-se uma redução de aproximadamente 100 000 km. Com este incentivo a compra de um Nissan LEAF é mais compensatória, conseguindo recuperar o investimento na vida útil do mesmo.

O retorno das emissões está representado na figura 4.47.

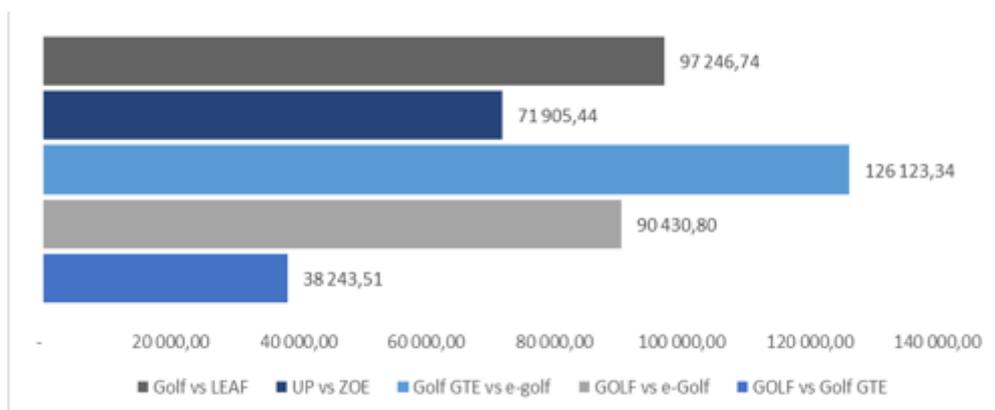


Figura 4.47 Resultado do retorno das emissões na produção.

Quando se observa a figura 4.47 percebe-se que existe um valor de retorno que se destaca dos restantes resultados. Esse retorno corresponde à comparação do PHEV com o ICE, onde o retorno acontece ao fim de percorrer 38 243,51 quilómetros o que equivale a cerca de 4 anos. Este tempo de retorno baixo deve-se ao fato da capacidade de a bateria dos PHEV ser normalmente menor, o que leva a emissões mais baixas na produção. O retorno

do ZOE em relação ao UP é feito ao fim de 71 905,44 quilómetros, ou seja, cerca de 8 anos. As outras comparações, apesar de valores mais elevados, têm um retorno dentro do intervalo de vida útil do veículo. Conclui-se, portanto, que a produção da bateria é um fator essencial em termos de emissões para que mesmo veículos com grandes capacidades tenham um retorno das emissões de forma mais rápida.

4.4. Emissões por estratégia de carregamento

- **Descrição**

Esta análise foi feita para perceber se a matriz de produção de energia elétrica com emissões mais baixas tem um impacto significativo no carregamento do veículo elétrico em termos de emissões.

Sabe-se que existe variabilidade nas energias renováveis ao longo do dia. Com esta análise pode-se observar o impacto da variabilidade de renováveis e, assim, escolher carregar o automóvel quando existe maior contribuição de fontes de energia renovável fazendo com que o valor das emissões do mix sejam mais baixas. Assumiu-se que os veículos estão estacionados para carregamento desde as 19h00 até às 8h00 (horário de chegada e partida da residência respetivamente), sendo este o horário disponível para o carregamento. Utilizou-se a média mensal de junho visto que foi o mês com menor contribuição de renováveis, e o mês de novembro o mês com maior contribuição de renováveis do ano de 2019 [59].

Fez-se a análise a dois tipos de carregamentos: o carregamento controlado e o não controlado. No carregamento não controlado assume-se que o utilizador estaciona o seu veículo e que faz a conexão à rede começando a carregar imediatamente. No carregamento não controlado, independentemente do mix de produção de eletricidade, as baterias serão carregadas a partir das 19h. No carregamento controlado assumimos que o veículo tem de estar com a carga total às 8h começando a carregar quando há maior contribuição de renováveis. O veículo assumido é um BEV no qual a capacidade utilizada da bateria por km é de 0.157 kWh/km, somando-se ainda nos cálculos os valores das perdas de transmissão, distribuição e carregamento. Para efeitos de cálculo assume-se que quando o carregamento é iniciado só é interrompido quando o nível de carga é de 100%.

Para os valores do diagrama de produção diário utilizou-se a média dos dias úteis do respetivo mês cedidos pela REN[60].

Foram elaborados dois cenários de forma a perceber, e tendo em conta os quilómetros percorridos, qual seria a dinâmica e os resultados obtidos em situações distintas. No primeiro cenário assumiu-se um condutor médio português que percorre cerca de 9 000 km por ano, ou seja, cerca de 30 km diários e no cenário 2 um condutor que percorra cerca de 100 km diários. Nestes dois cenários assume-se a potência mais elevada disponível pela EDP no carregamento numa moradia, que tem o valor de 7,4 kW [61].

- **Resultados e interpretação**

Na figura 4.48 observa-se que, num dia com pouca contribuição de renováveis, não existe muita variação na produção de eletricidade através de energia renovável, atingindo o valor mais elevado às 20h15 de 36,85% e o valor mínimo às 6h45 de 27,26 %. No dia com maior contribuição (novembro) verifica-se uma variação mais elevada em relação ao mês de junho. Observa-se que o valor com menor contribuição ocorre às 13h45 com 52,76% e o valor de maior contribuição ocorre às 18h30 com 64,51%.

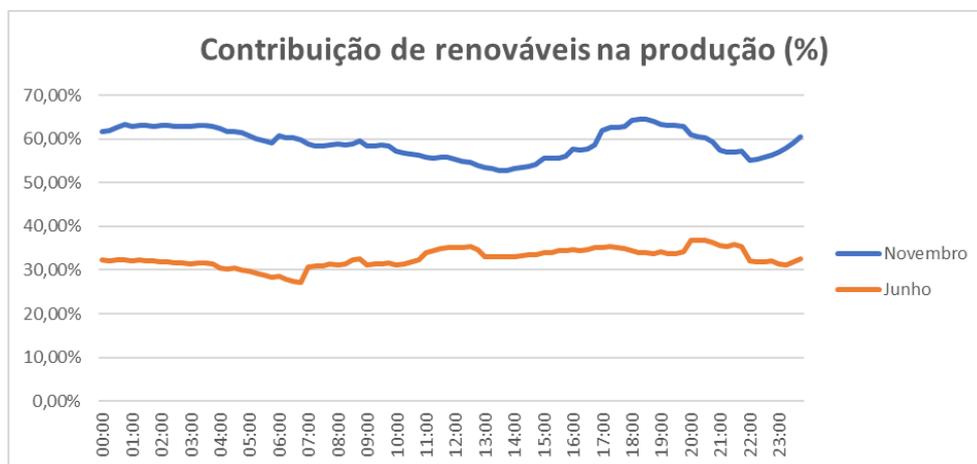


Figura 4.48 Contribuição das renováveis ao longo do dia.

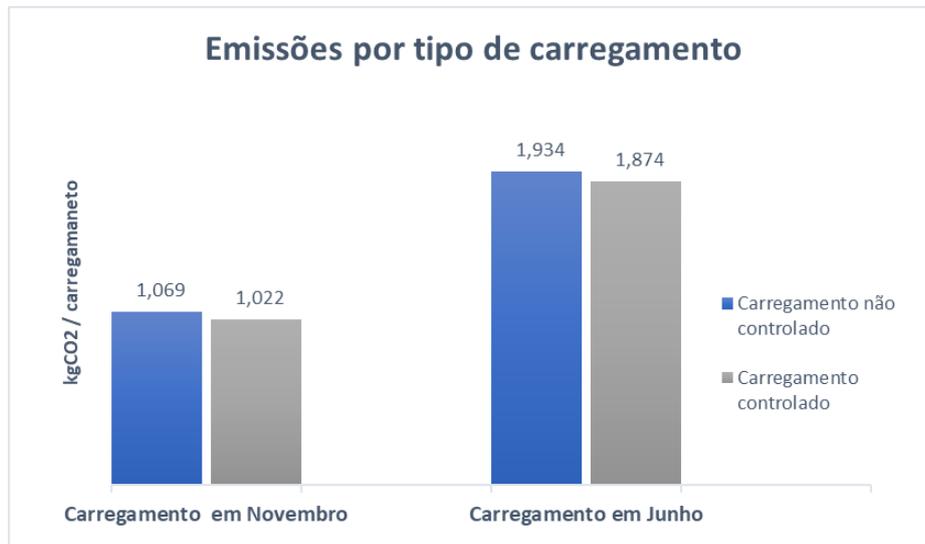
Cenário 1

Figura 4.49 Resultado emissões cenário 1

Observa-se na figura 4.49 que não existem diferenças substanciais entre tipos de carregamento devido ao facto deste ser feito em menos de 1h. É, no entanto, perceptível que com a diferença de penetração de renováveis consegue-se produzir menos 800 a 900 gramas de CO₂ por carregamento.

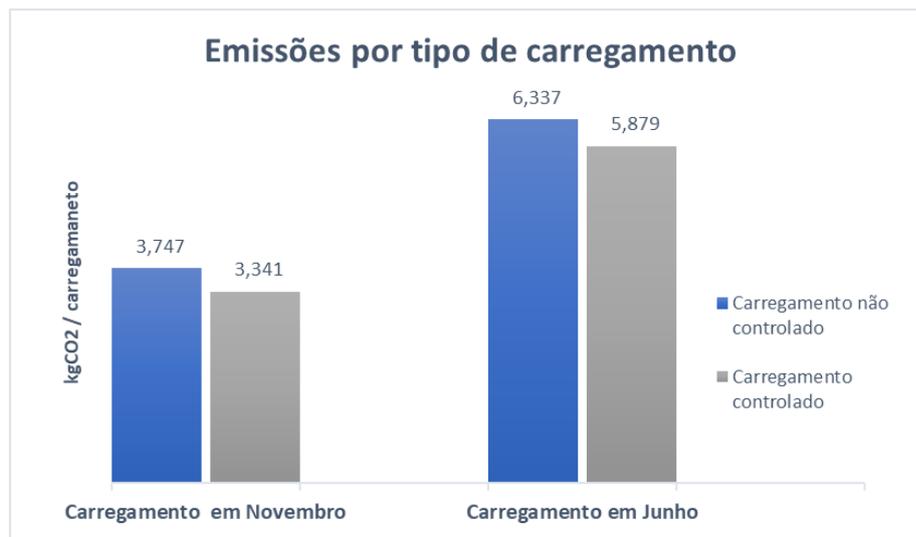
Cenário 2

Figura 4.50 Resultado emissões cenário 2.

Neste segundo cenário observa-se, na figura 4.50, uma maior diferença nas emissões em relação ao carregamento controlado e ao carregamento não controlado, devido

ao maior tempo de carregamento, cerca de 2h40. Neste cenário destaca-se que a contribuição de renováveis tem um impacto elevado. Também se observa que a diferença entre o carregamento controlado e não controlado não difere muito nos diferentes meses, sendo esta diferença entre as 400 e 500 gramas de CO₂ por carregamento.

Em suma, percebe-se que a contribuição de renováveis é um fator importante para que o carregamento dos veículos elétricos seja menos poluente e, por consequência, tenha um menor impacto ambiental. Portanto, é necessário continuar a investir no aumento da penetração das fontes de energia renovável na produção de energia elétrica.

5. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

5.1. Conclusões

A realização desta dissertação permitiu perceber que ainda existe muito trabalho a ser desenvolvido para que sejam concretizados todos os objetivos da mobilidade elétrica. A dissertação apresenta várias análises a partir das quais se retiraram várias conclusões.

A primeira conclusão é que com as tecnologias presentes nos EV's se conseguem obter alguns resultados favoráveis com vista à sustentabilidade. Como o impacto em termos energéticos e de emissões na produção da bateria é elevado, os EV's unicamente possuem resultados positivos em relação aos ICE's para elevadas distâncias percorridas. Mesmo em longas distâncias observamos que o BEV, em termos de emissões, só é melhor que o ICE nos segmentos B e C. O mesmo já não acontece para os segmentos elevados. O BEV também tem um desempenho negativo face ao ICE em relação à necessidade de energia. Em termos de energia primária, o BEV tem valores superiores ao ICE em todos os segmentos. Quando analisamos o PHEV este tem melhor desempenho que o ICE em todos os segmentos e nos 3 indicadores.

Deste modo, podemos concluir que as baterias têm um impacto demasiado elevado o que leva a que o BEV não seja uma opção viável para atingir os objetivos ambientais, na atualidade.

A segunda conclusão é que se na matriz energética fosse incluída uma maior contribuição de fontes de energia renovável, o BEV passaria a obter menor valor de emissões do que o ICE em todos os segmentos, como seria de esperar.

A terceira conclusão é que o retorno do valor superior das emissões existentes na produção dos EV's é apelativo quando observamos o comportamento de um PHEV.

A quarta conclusão, e não menos importante, visto que o preço é um fator de peso na decisão da compra de um EV, foi perceber que apesar do custo na fase de utilização ser mais baixo, tanto atualmente como para 2030, concluiu-se que o tempo de retorno do investimento inicial, mesmo com o incentivo do governo, torna-se demasiado prolongado.

O fator preço é ainda uma barreira importante na vontade de adquirir um EV por parte de um utilizador.

Portanto, podemos concluir que, à luz do panorama atual, a mobilidade elétrica não alcançou os objetivos desejados, ou seja, esta só é sustentável caso os EV tenham baterias de baixa capacidade. A adoção de EV's tem potencial para aumentar quando for solucionada, ou mitigada, a questão do reduzido tempo de vida da bateria e o custo de compra decresça de forma a atrair um maior número de utilizadores. Nos próximos anos a mobilidade elétrica pode causar um impacto bastante positivo desde que haja continuidade no investimento, no estudo e desenvolvimento de novas tecnologias direcionadas para as baterias de forma a que estas se tornem mais económicas e sustentáveis, constituindo, assim, um investimento seguro, confiável e um verdadeiro substituto dos veículos movidos a combustíveis fósseis.

No que diz respeito à energia produzida através de fontes renováveis tem de haver continuação no progresso na sua contribuição para o mix de energia. Afigura-se ainda fundamental que haja uma contínua evolução nas redes de distribuição, nomeadamente que se tornem cada vez mais inteligentes. Estas devem ser capazes de responder às necessidades da rede e às dinâmicas de utilização da rede, em especial num cenário onde, com a proliferação dos veículos elétricos vai exigir que a mesma tenha capacidade de resposta ao aumento do consumo energético.

5.2. Trabalho futuro

Em virtude da rápida evolução deste tema percebemos que ainda há muito trabalho a desenvolver nesta área. De modo a completar as análises desenvolvidas, ficam algumas ideias para futuras investigações:

- Analise do processo mais sustentável para a reciclagem das baterias.
- Analise da tendência do valor das baterias assim como a vida útil desta para poder ser incluído nas análises de custo.
- Analise dos impactos e o custo da manutenção dos EV's.
- Fazer as análises comparativas incluindo os veículos a hidrogénio.
- Impacto da utilização em larga escala de EV's no diagrama de carga.
- Análises comparativa seguindo evolução da nova norma europeia das emissões para os ICE's.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] APREN, “Produção de Energia Elétrica.” [Online]. Available: <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao>.
- [2] APREN, “Anuário,” 2019.
- [3] DGES, “Caraterização Energética Nacional 2017,” 2017. [Online]. Available: <http://www.dgeg.gov.pt/default.aspx?cn=774977507751AAAAAAAAAAAAA>.
- [4] REA, “ENERGIA E CLIMA PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA,” 2019. [Online]. Available: <https://rea.apambiente.pt/content/precipitação-e-temperatura>.
- [5] G. Erbach and EPRS | European Parliamentary Research Service, “Briefing: Understanding energy efficiency,” no. October, p. 10, 2015.
- [6] S. Böhler-Baedeker and H. Hüging, “Transporte Urbano e Eficiência Energética Módulo 5h Transporte Sustentável: Um manual de Referência para Elaboradores de Política em Cidades em Desenvolvimento,” p. 86, 2014.
- [7] S. Kobayashi, S. Plotkin, and S. K. Ribeiro, “Energy efficiency technologies for road vehicles,” *Energy Effic.*, vol. 2, no. 2, pp. 125–137, 2009.
- [8] EPA, “The 2018 EPA Automotive Trends Report: Greenhouse Gas Emissions, Fuel Economy, and Technology since 1975 - Executive Summary (EPA-420-S-19-001, March 2019),” 2019.
- [9] M. Kampa and E. Castanas, “Human health effects of air pollution,” *Environ. Pollut.*, vol. 151, no. 2, pp. 362–367, 2008.
- [10] IEA, “CO2 Emissions Statistics.” [Online]. Available: <https://www.iea.org/statistics/co2emissions/>.
- [11] statista, “number of registered passenger cars.” [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/452447/europe-eu-28-number-of-registered-passenger-cars/>).
- [12] M. N. with A. Bjørnåvold, “Electric road vehicles in the European Union Trends , impacts and policies,” *EPRS / Eur. Parliam. Res. Serv.*, no. April, p. 11, 2019.
- [13] C. O. T. EUROPEAN, “Directives 91/441/EE,” no. 2, 1991.
- [14] C. O. T. EUROPEAN, “94/1 2/CE,” pp. 42–52, 1994.
- [15] C. O. T. EUROPEAN, “2002/80/EC,” *Regulation*, no. August, pp. 26–58, 2006.
- [16] S. Bensaid, D. L. Marchisio, and D. Fino, “Numerical simulation of soot filtration and combustion within diesel particulate filters,” *Chem. Eng. Sci.*, vol. 65, no. 1, pp. 357–363, 2010.
- [17] K. Johansen, H. Bentzer, A. Kustov, K. Larsen, T. V. W. Janssens, and R. G.

- Barfod, “Integration of vanadium and zeolite type SCR functionality into DPF in exhaust aftertreatment systems - Advantages and challenges,” *SAE Tech. Pap.*, vol. 1, 2014.
- [18] SMMT, “Air Quality : the Automotive Industry Contribution,” no. September, 2015.
- [19] European Commission, “Member States’ Energy Dependence: An Indicator-Based Assessment,” 2013.
- [20] M. Coffman, P. Bernstein, and S. Wee, “Electric vehicles revisited: a review of factors that affect adoption,” *Transp. Rev.*, vol. 37, no. 1, pp. 79–93, 2017.
- [21] S. Carley, R. M. Krause, B. W. Lane, and J. D. Graham, “Intent to purchase a plug-in electric vehicle: A survey of early impressions in large US cities,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 18, no. 1, pp. 39–45, 2013.
- [22] I. Wagner, “Number of electric vehicles in the world 2012-2018,” 2019. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/270603/worldwide-number-of-hybrid-and-electric-vehicles-since-2009/>.
- [23] D. J. G. Reichmuth, “Accelerating US Leadership in Electric Vehicles,” p. 5, 2017.
- [24] M. K. Hidrue, G. R. Parsons, W. Kempton, and M. P. Gardner, “Willingness to pay for electric vehicles and their attributes,” *Resour. Energy Econ.*, vol. 33, no. 3, pp. 686–705, 2011.
- [25] R. Madlener, “Consumer Preferences for Alternative Fuel Vehicles : A Discrete Choice Analysis André Hackbarth and Reinhard Madlener December 2011 Revised December 2012 Institute for Future Energy Consumer Needs and Behavior (FCN),” no. 20, 2012.
- [26] N. Jakobsson, T. Gnann, P. Plötz, F. Sprei, and S. Karlsson, “Are multi-car households better suited for battery electric vehicles? - Driving patterns and economics in Sweden and Germany,” *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, 2016.
- [27] C. Morton, J. Anable, and J. D. Nelson, “Exploring consumer preferences towards electric vehicles: The influence of consumer innovativeness,” *Res. Transp. Bus. Manag.*, vol. 18, pp. 18–28, 2016.
- [28] J. Fernandes, “Ambiente e transição energética Despacho n.º 2210/2019,” 2019.
- [29] C. Byrne and P. Paulo, “Vencer o desafio da MOBILIDADE ELÉTRICA em Portugal.”
- [30] W. Enang and C. Bannister, “Modelling and control of hybrid electric vehicles (A comprehensive review),” Elsevier Ltd, 2017.
- [31] A. Ajanovic and R. Haas, “Dissemination of electric vehicles in urban areas: Major factors for success,” *Energy*, vol. 115, no. 2016, pp. 1451–1458, 2016.
- [32] I. Standard Organization, *ISO, 2006b. ISO 14044:2006 Environmental Management e Life Cycle Assessment e Requirements and Guidelines. International Organization for Standardization, Geneva.*, vol. 2006. 2006.
- [33] EU Science HUB, “Well-to-wheels analyses.” [Online]. Available:

- <https://ec.europa.eu/jrc/en/jec/activities/wtw>.
- [34] ACP, “Estudo Condutor Português,” 2018.
- [35] C. Pfister, “Energieeffiziente Fahrzeuge Véhicules efficients en énergie Vorwort Avant-propos,” 2017.
- [36] TÜV Nord Cert, “The e-Golf Environmental Commendation The e-Golf The legend goes electric.”
- [37] K.-M. Lee and A. Inaba, “Life Cycle Assessment: Best Practices of International Organization for Standardization (ISO) 14040 Series.”
- [38] P. Girardi, A. Gargiulo, and P. C. Brambilla, “A comparative LCA of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle using the appropriate power mix: the Italian case study,” *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 20, no. 8, pp. 1127–1142, 2015.
- [39] L. L. P. Souza, E. E. Silva Lora, J. C. Escobar Palacio, M. H. Rocha, and M. L. G. Renó, “Análise do ciclo de vida de veículos convencional, elétrico e híbrido plug-in para condições brasileiras,” *Rev. Ibero-Americana Ciências Ambient.*, vol. 7, no. 3, pp. 144–159, 2016.
- [40] U. S. Energy Information Administration, “Gasoline production.” [Online]. Available: <https://www.eia.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler.ashx?n=p&s=mgfryus3&f=a>.
- [41] Energy Information Administration, “International Energy Outlook,” *Outlook*, vol. 0484, no. July, pp. 70–99, 2019.
- [42] J. Bernardo, “Plano Nacional Integrado Energia-Clima: Linhas de Atuação para o Horizonte 2021-2030,” *Sessão Apresentação do Plano Nac. Energ. e Clima 2030*, p. (in Portuguese), 2018.
- [43] Intergovernmental Panel on Climate Change and Intergovernmental Panel on Climate Change, “Technology-specific Cost and Performance Parameters,” *Clim. Chang. 2014 Mitig. Clim. Chang.*, pp. 1329–1356, 2015.
- [44] COGEN Portugal, “Cogeração_nov2011.pdf.”
- [45] M. A. A. Gonçalves, “Primary Energy Factors and Specific Emissions for the Portuguese Network,” Universidade Coimbra, 2019.
- [46] M. Molenbroek, E. Stricker, and T. Boermans, “Primary energy factors for electricity in buildings Toward a flexible electricity supply,” 2011.
- [47] APREN, “Eletricidade Renovável 2019,” 2019.
- [48] ERSE, “Perdas na rede de transporte.” [Online]. Available: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/atividadesdosector/transporte/Paginas/RNT-Perdas.aspx>.
- [49] ERSE, “Perdas nas redes de distribuição.” [Online]. Available: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/atividadesdosector/distribuicao/Paginas/RND-Perdas.aspx>.
- [50] A. Schuller and C. Stuart, “From cradle to grave: e-mobility and the energy

- transition,” 2018.
- [51] Daimler AG, “Environmental Certificate Mercedes-Benz A-Class,” 2018.
- [52] Daimler AG, “Life cycle compact - The new GLE 500 e 4Matic.”
- [53] L. Gaines, “Lithium-ion battery recycling processes: Research towards a sustainable course,” *Sustain. Mater. Technol.*, vol. 17, p. e00068, 2018.
- [54] PSA, “Preliminary Study for a Life Cycle Assessment of a Hybrid Electric Vehicle,” *Management*, pp. 2008–2010, 2010.
- [55] EEA, *Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives - TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report*, no. 13. 2018.
- [56] Volkswagen, “Lithium to lithium, manganese to manganese,” 2019. [Online]. Available: <https://www.volkswagenag.com/en/news/stories/2019/02/lithium-to-lithium-manganese-to-manganese.html>.
- [57] PORDATA, “Preços médios de venda ao público dos combustíveis líquidos e gasosos – Continente.” [Online]. Available: <https://www.pordata.pt/Portugal/Preços+médios+de+venda+ao+público+dos+combustíveis+líquidos+e+gasosos+--+Continente-1265>.
- [58] PORDATA, “Preços da electricidade para utilizadores domésticos e industriais (Euro/ECU).” [Online]. Available: [https://www.pordata.pt/Europa/Preços+da+electricidade+para+utilizadores+domésticos+e+industriais+\(Euro+ECU\)-1477](https://www.pordata.pt/Europa/Preços+da+electricidade+para+utilizadores+domésticos+e+industriais+(Euro+ECU)-1477).
- [59] APREN, “Boletim eletricidade renovável,” 2019.
- [60] REN, “Estatística Diária - SEN.” [Online]. Available: <http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoExploracao/Paginas/EstatisticaDiariaDiagrama.aspx>.
- [61] EDP, “Carregar em casa.” [Online]. Available: <https://www.edp.pt/particulares/servicos/mobilidade-eletrica/carregar-em-casa/>.
- [62] Motoreu, “marcas de carros.” [Online]. Available: <https://motoreu.com/pt>.
- [63] TÜV Nord Cert, “The e-up Environmental Commendation Background Report,” *Volkswagen*.
- [64] Opel, “Configurador Corsa.” [Online]. Available: <https://www.opel.pt/carros/corsa-e/configurador.html>.
- [65] Seat, “Seat Ibiza,” 2019.
- [66] TESLA, “TESLA.” [Online]. Available: https://www.tesla.com/pt_pt/.
- [67] TÜV Nord Cert, “The new Audi A4 Life Cycle Assessment.”
- [68] TÜV Nord Cert, “The Audi Q7 e-tron quattro.”
- [69] TÜV Nord Cert, “The new Audi Q7 Life Cycle Assessment.”
- [70] BMW AG, “Environmental Report BMW 530e iPerformance.”

- [71] BMW AG, “Environmental Report BMW 530iA.”
- [72] Porsche, “Os modelos Panamera E-Hybrid.” [Online]. Available: <https://www.porsche.com/portugal/models/panamera/panamera-e-hybrid-models/>.
- [73] BMW AG, “Environmental Report BMW 740Le iPerformance.”
- [74] BMW AG, “Environmental Report BMW 740Li.”
- [75] BMW, “Environmental Report BMW i8 BEV,” 2016.
- [76] Porsche, “Os modelos Panamera.” [Online]. Available: <https://www.porsche.com/portugal/models/panamera/panamera-models/panamera-4/>.

APÊNDICE A – VEÍCULOS UTILIZADOS PARA A ANÁLISE

Tabela A.12.Dados Veículos utilizados na análise

Veículo	Marca	Modelo	Autonomia bateria (km)	Consumo combustível (l/100 km)	Consumo eletricidade (kWh/100km)	Capacidade bateria (kWh)	Co2 (g/km)	Peso (kg)	Segmento	Referências
ICE	VW	up	x	5,4	x	x	123	926	B	[62], [63]
BEV	VW	e-up	160	x	11,7	18,7	0	926	B	[62], [63]
BEV	Opel	Corsa-e	330	x	14,8	50	0	1094	B	[62], [64]
ICE	Seat	Ibiza 5	x	4,7	x	x	107	1660	B	[62], [65]
BEV	Smart	ForTwo EQ	160	x	12,9	17,6	0	1145	B	[62]
BEV	Renault	Zoe	165	x	13,3	22	0	1503	B	[62]
BEV	VW	e-Golf	300	x	15,37	35,8	0	1585	C	[62], [36]
PHEV	VW	Golf GTE	50	2	13,65	9	46	1615	C	[62]
BEV	Opel	Ampera- e	517	x	11,6	60	0	1691	C	[62]
ICE	VW	Golf VII	x	5,5	x	x	124	1720	C	[62], [36]
BEV	Ford	Focus	149	x	15,4	23	0	1700	C	[62]
ICE	Mercedes	C250	x	6,2	x	x	140	2145	D	[62]
PHEV	VW	Passat GTE	50	1,6	nd	9,9	37	1722	D	[62]
BEV	Tesla	Model 3	355	x	16,9	60	0	1610	D	[62], [66]
PHEV	Kia	Optima	53	1,6	11,26	11,3	37	1780	D	[62]
ICE	Audi	A4	x	5,2	x	x	123	1395	D	[62], [67]

Estudo comparativo de veículos ligeiros de passageiros com diferentes tecnologias.

BEV	Tesla	Model X	355	x	16,9	60	0	2468	E	[62], [66]
PHEV d	Audi	Q7 quattro e-tron	56	1,8	19	17,3	48	2520	E	[62], [68]
ICE	Audi	Q7 quattro	x	5,5	x	x	144	2070	E	[62], [69]
BEV	AUDI	E-tron	363	x	26,2	95	0	2500	E	[62]
PHEV	BMW	530e	50	2,1	14,1	8	49	1770	E	[62], [70]
ICE	BMW	530i	x	6,7	x	x	157	1670	E	[62], [71]
PHEV	Mercedes	GLE 500 e	30	3,3	16,7	8,7	78	3050	E	[62], [52]
BEV	Tesla	Model S	467	x	15	70	0	2175	E	[62], [66]
PHEV	Porsche	Panamera 4 E-híbrido	51	3,3	21,7	14	74	2245	F	[62], [72]
PHEV	BMW	740Le	48	2	15,5	9,2	53	2015	F	[62], [73]
ICE	BMW	740Li	x	6,8	x	x	159	1845	F	[62], [74]
PHEV	BMW	i8	55	2,1	14	11,6	42	1610	F	[62],[75]
ICE	Porsche	Panamera	x	10,5	x	x	240	1940	F	[62], [76]
ICE	Opel	Corsa	x	5,4	x	x	123	1531	B	[62]
BEV	Mercedes	EQC 400	410	x	22,7	80	0	2425	D	[62]
PHEV	Mercedes	C350 e	31	2,1	nd	6,4	49	1765	D	[62]

APÊNDICE B- ANÁLISE DO CUSTO PARA O UTILIZADOR NA FASE DE USO

Tabela B.13.Custo na fase de uso ao fim de percorrer 9000 km.

	Segmento B		Segmento C			Segmento D		
	BEV	ICE	BEV	PHEV	ICE	BEV	PHEV	ICE
Preço atual	255,41 €	771,90 €	273,79 €	563,42 €	821,70 €	383,84 €	482,23 €	851,58 €
Preço 2030	393,31 €	981,15 €	421,62 €	787,29 €	1 044,45 €	591,09 €	671,63 €	1 082,43 €

	Segmento E				Segmento F	
	BEV	PHEV	PHEV D	ICE	PHEV	ICE
Preço atual	375,44 €	701,92 €	575,14 €	1 000,98 €	699,37 €	1 292,31 €
Preço 2030	578,15 €	972,47 €	829,12 €	1 272,33 €	977,91 €	1 642,64 €