



**A transição para uma Economia em baixo carbono:
O setor dos transportes e a transição para a
mobilidade elétrica**

por

Luís Vasco de Sousa e Castro Côrte-Real

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Economia pela Faculdade
de Economia do Porto

Orientada por:

Professora Doutora Isabel Soares

Agosto, 2017

Nota biográfica

Luís Vasco de Sousa e Castro Côrte-Real, nascido no Porto a 2 de Março de 1991. Licenciado em Economia em 2014 pela Faculdade de Economia da Universidade do Porto. Posteriormente, prosseguiu os seus estudos matriculando-se no Mestrado em Economia também na Faculdade de Economia da Universidade do Porto. Iniciou a sua carreira profissional em Setembro de 2015, onde se encontra até aos dias de hoje no GROUPE PSA, assumindo as funções na área de *Accounts Payable*.

Agradecimentos

Os meus maiores agradecimentos à minha orientadora, Professora Doutora Isabel Soares, pela orientação, apoio e ajuda dada ao longo na elaboração do presente trabalho.

Aos meus amigos, com menção especial à Laura Gonçalves, ao João Pinto, ao Pedro Koehler e ao Gonçalo Fernandes, pela ajuda, companheirismo e, principalmente, pelo apoio que me deram ao longo da dissertação, que foi fundamental para que, em momentos difíceis, não desmoralizasse.

À minha família, principalmente ao meu irmão José pela amizade e companheirismo, aos meus avós e tios e por fim, aos meus pais pelo constante apoio, motivação, ajuda e por me concederem todas as condições para que levasse este trabalho a bom porto.

Resumo

Os veículos elétricos estão a ganhar importância na medida em que o setor dos transportes é responsável pela emissão de cerca de um quarto total das emissões de gases com efeito de estufa, e estes são vistos como sendo uma potencial solução, apresentando-se como uma tecnologia alternativa às tecnologias baseadas em combustíveis fósseis.

O objetivo da dissertação passa por calcular custos de mobilidade anuais e custos por cada 100 km para cada tecnologia automóvel do segmento C em 5 países (Portugal, Espanha, Reino-Unido, França e Holanda), neste caso duas tecnologias convencionais e duas tecnologias elétricas, escolhendo um veículo para cada tecnologia com recurso à utilização do modelo de Ajanovic (2015).

Com base nos nossos resultados, analisando os custos anuais conclui-se que os veículos elétricos anualmente são os veículos mais caros face aos veículos convencionais. Já nos custos por cada 100 km, o Toyota Prius é o veículo mais caro, seguindo-se do Volkswagen Golf a gasolina. O Nissan Leaf assume a segunda posição, como veículo com custos mais baixos, sendo apenas superado pelo Volkswagen Golf a gasóleo em relação aos custos por cada 100 km. Conclui-se mesmo havendo uma redução entre o diferencial de custos dos veículos elétricos de baterias e dos veículos convencionais, algumas barreiras terão de ser ultrapassadas de modo a que os veículos elétricos conquistem o mercado. Os híbridos podem ser considerados como um elo de ligação entre as duas tecnologias. Assim os nossos resultados levam-nos a afirmar que a evolução tecnológica não foi favorável nas duas tecnologias elétricas automóvel.

Este trabalho contribui para o estado da arte, uma vez que são utilizados dados para o ano de 2016, dando destaque a Portugal que raramente é citado/ analisado nos estudos ligados à mobilidade elétrica.

Códigos-JEL: C02, L92, Q56

Palavras-chave: ambiente; emissões de carbono; mobilidade elétrica; transportes

Abstract

Electric vehicles are gaining importance as the transport sector is responsible for one quarter of the total emission of greenhouse gases and they are seen as a potential solution for this problem, thus presenting itself as an alternative technology to the ones that are based on fossil fuels.

The goal of this dissertation consists of calculating annual mobility costs and costs per 100 km for each C-segment automotive technology in 5 countries (Portugal, Spain, United-Kingdom, France and Holland), in this case two conventional technologies and two electrical technologies, choosing a vehicle for each technology using the model of Ajanovic (2015).

Based on our results, and by analyzing annual costs, we conclude that annually the electric vehicles are the most expensive compared to the conventional ones. Regarding the costs per 100 km, the Toyota Prius is the most expensive vehicle, followed by the gasoline Volkswagen Golf. The Nissan Leaf assumes the second position, as a vehicle with low costs, only being surpassed by the diesel Volkswagen Golf relatively to the costs for every 100 km. We further conclude that even if there is a reduction between the cost differential of battery electric vehicles and conventional vehicles, some barriers will have to be overcome in order for electric vehicles to conquer the market. Hybrids can be considered as a link between the two technologies. For these reasons our results lead us to affirm that technological evolution was not favorable for the two automotive electrical technologies.

This work contributes to the state of the art of existing literature, since the data is used for the year 2016, highlighting Portugal that is rarely cited / analyzed in the studies related to electric mobility.

JEL Codes: C02, L92, Q56

Keywords: environment; carbon emissions; electric mobility; transport

Índice

Nota biográfica	i
Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract.....	iv
Índice de quadros	vii
Índice de figuras.....	viii
Lista de abreviaturas e acrónimos.....	x
Introdução	1
Capítulo 1. Transportes e veículos elétricos: enquadramento teórico	5
1.1. O Setor dos Transportes.....	12
1.2. Veículos Elétricos	16
1.2.1. A história dos veículos elétricos	16
1.2.2. Caracterização dos diferentes tipos de veículos elétricos	19
1.2.2.1. Veículo elétrico de baterias.....	20
1.2.2.2. Veículo elétrico híbrido	22
1.2.2.3. Veículo elétrico híbrido Plug-in	23
1.3. Parque automóvel de veículos elétricos Europeu	25
1.3.1. Nível de CO2 e impacto ambiental dos veículos elétricos	25
1.3.2. Caracterização do mercado automóvel Europeu	29
Capítulo 2. Metodologia	35
2.1. A amostra	36
2.2. O Modelo	39
2.3. Dados	39
Capítulo 3. Resultados e Análise Crítica	51
Conclusão.....	58

Referências bibliográficas	61
Anexos.....	70

Índice de quadros

Quadro 1 – Comparação entre veículos elétricos de baterias, híbridos e veículos convencionais	24
Quadro 2 – Dados para Portugal.....	48
Quadro 3 – Dados para França	49
Quadro 4 – Dados para Espanha.....	49
Quadro 5 – Dados para o Reino-Unido	50
Quadro 6 – Dados para a Holanda	50
Quadro 7 – Custo anual de cada veículo, em euros, em cada país	52
Quadro 8 – Custo por cada 100 km de cada veículo, em euros, em cada país	54
Quadro 9 – Plano manutenção Nissan Leaf 30 kW, em euros para os 5 países	71
Quadro 10 – Plano manutenção Toyota Prius, em euros para os 5 países.....	71
Quadro 11 – Plano manutenção VW Golf, em euros para os 5 países	72
Quadro 12 – Detalhes custos anuais, em euros para os 5 países	74
Quadro 13 – Detalhes custos por cada 100 km, em euros para os 5 países.....	75

Índice de figuras

Figura 1 – Emissões de gases com efeito de estufa no setor dos transportes.....	13
Figura 2 – Evolução das emissões de gases com efeito de estufa nos diferentes setores	15
Figura 3 – Cronologia dos veículos elétricos	17
Figura 4 – Componentes do veículo elétrico de baterias	21
Figura 5 – Componentes do veículo elétrico híbrido	23
Figura 6 – Emissões de gases com efeito de estufa durante o ciclo de vida de cada tipo dos diferentes veículos e de diferentes fontes de produção de eletricidade.....	28
Figura 7 – Evolução dos diferentes mercados dos veículos elétricos	31
Figura 8 – Total de vendas de automóveis elétricos e veículos elétricos em percentagem das vendas totais nos Estados-Membros da UE em 2015.....	32
Figura 9 – Custos de investimento de cada veículo nos diferentes países (em euros)	40
Figura 10 – Preço da Gasolina nos postos de abastecimento em Fevereiro de 2016 (em euros)	42
Figura 11 – Preço do Gasóleo nos postos de abastecimento em Fevereiro de 2016 (em euros)	42
Figura 12 – Preço da eletricidade para o consumidor doméstico para o semestre de 2016 (em euros)	43
Figura 13 – Consumo de cada veículo em kWh por cada 100 km.....	45
Figura 14 – Distância anual percorrida por cada veículo em cada país em km	46
Figura 15 – Custos de manutenção de cada veículo em cada país (em euros).....	48
Figura 16 – Custo anual de cada veículo em cada país (em euros).....	52
Figura 17 – Custo por cada 100 km de cada veículo em cada país (em euros).....	55
Figura 18 – Custos anuais e custos por cada 100 km em Portugal (em euros)	56

Figura 19 – Custos anuais e custos por cada 100 km em França (em euros)	56
Figura 20 – Custos anuais e custos por cada 100 km em Espanha (em euros).....	57
Figura 21 – Custos anuais e custos por cada 100 km no Reino-Unido (em euros)	57
Figura 22 – Custos anuais e custos por cada 100 km na Holanda (em euros).....	57

Lista de abreviaturas e acrónimos

BEV – Veículo elétrico de baterias

CRF – Fator de recuperação de capital

EAFO – European Alternative Fuels Observatory

EEA – European Environment Agency

FCEV – Veículo elétrico de células de combustível

HEV – Veículo elétrico híbrido

PHEV – Veículo elétrico híbrido Plug-In

UE – União Europeia

Introdução

A questão global das alterações climáticas é atualmente um dos maiores desafios do desenvolvimento sustentável. De forma a que a União Europeia se mantenha competitiva e dê respostas de mobilidade quer a nível de mercadorias, como de pessoas é imperativa uma transição para uma economia de baixo carbono. Os transportes representam cerca de um quarto das emissões de carbono na Europa, sendo que as principais causas são a poluição atmosférica e sonora nas cidades. O setor dos transportes vai ao encontro do Acordo de Paris sobre as alterações climáticas e a sua reconversão é vista como um potencial contributo para a redução das emissões de gases com efeitos de estufa na Europa. O objetivo principal consiste na redução de pelo menos 60% das emissões de gases com efeito de estufa que resultam da atividade do setor dos transportes, tendo como referência o ano de 1990 (Comissão Europeia, 2016a, 2016b).

No transporte rodoviário, sendo este responsável por mais de 70% das emissões de gases com efeito de estufa originadas pelo setor dos transportes, as ações a serem tomadas terão de assumir um carácter global, uma vez que haverá a necessidade de um contributo por parte de cada Estado-Membro e estas deverão concentrar-se essencialmente neste subsector. Este processo de transição já se iniciou, mas deverá ver aumentar o seu ritmo graças à estratégia seguida pela UE com o objetivo de reduzir as emissões de carbono. Portugal sendo membro da União Europeia, terá de cumprir as metas já estabelecidas (Comissão Europeia, 2016a).

Com base na Comissão Europeia (2016b), são referidos objetivos de eficiência energética e objetivos a nível de energias renováveis são contemplados no Quadro Climático e Energético de 2030, onde uma abordagem global e neutra em termos tecnológicos é adotada tendo em vista a redução dos níveis de CO₂ e a dependência energética europeia através da promoção da redução das emissões e do aumento da eficiência energética. O Pacote da União da Energia aponta que o processo de eficiência energética e da descarbonização no sector dos transportes deverá ser acelerado, através de uma mudança progressiva nos combustíveis alternativos e ainda na integração dos sistemas de energia e transportes (Comissão Europeia, 2016a, 2016b).

De modo a que a União Europeia alcance com sucesso os seus objetivos climáticos, deverá prosseguir o seu trabalho com vista na procura de uma solução a nível mundial para os problemas relacionados com a alteração climática. Será necessária uma redução significativa e rápida a nível de emissões na próxima década e todos os setores da economia estão em causa, não apenas aqueles que são mais intensivos em emissões (Comissão Europeia, 2010).

O veículo elétrico não é uma invenção recente, uma vez que este foi introduzido no século XIX. O seu auge deu-se no período entre 1890 e 1920 (1ª fase) nos EUA onde os veículos elétricos de passageiros tinham mais sucesso do que na Europa. Já o seu declínio (2ª fase) iniciou-se a partir de 1920 e deveu-se a fatores técnicos e fatores económicos, na medida em que se registou um elevado avanço tecnológico nos veículos convencionais e graças às limitações de autonomia das baterias fizeram com que a produção dos veículos elétricos entrasse em declínio (Argueta, 2010), (Ajanovic, 2015).

Com o choque petrolífero de 1970 os veículos elétricos são novamente vistos como uma alternativa aos veículos convencionais, uma vez que diversas preocupações surgiram face à oferta volátil do petróleo e ainda ao surgimento de problemas ambientais ligados à qualidade do ar. Atualmente o número deste tipo de veículos é baixo face ao número total de veículos, uma vez que ainda apresentam algumas das limitações do início da sua história (US Department of Energy, 2014).

Graças aos problemas resultantes da utilização dos combustíveis fósseis tais como a alta dependência petrolífera, as emissões de gases com efeitos de estufa e ainda a poluição do ar, na última década temos assistido a um aumento no interesse da eletrificação do setor dos transportes de passageiros (Ajanovic, 2013). Os veículos elétricos são assim vistos como a tecnologia que poderá ter a capacidade de diminuir os problemas ambientais e económicos relacionados com o setor do transporte rodoviário referidos anteriormente (Ajanovic, 2014).

A mobilidade é considerada como um fator essencial e, sendo a transição para uma economia de baixo carbono um dos grandes objetivos da União Europeia, os veículos elétricos assumem grande relevância uma vez que são vistos como uma potencial solução na redução dos gases de efeito de estufa no setor dos transportes Comissão Europeia

(2016a).

Um dos aspetos mais importantes inerente à penetração dos veículos elétricos no mercado é a sua vertente económica. Desta forma, de modo a existir uma comercialização de veículos elétricos, é necessário que estes veículos sejam economicamente competitivos face aos veículos convencionais. Segundo Ajanovic (2015), o peso da bateria nos custos totais de um veículo elétrico de baterias representa um custo total de 23-58%, sendo que o uso futuro deste tipo de tecnologia depende do desenvolvimento da tecnologia das baterias, bem como os custos das mesmas.

Com recurso ao modelo de Ajanovic no seu estudo “The future of electric vehicles: prospects and impediments” (2015), serão calculados os custos de mobilidade anuais e os custos por cada 100 km para cada tecnologia de veículos do segmento C (veículos convencionais, veículos elétricos de baterias e veículos elétricos híbridos), em 5 países (Portugal, Espanha, Reino-Unido, França e Holanda) relativamente ao ano de 2016. O modelo (Ajanovic, 2015) tem em consideração o custo de investimento do veículo, a taxa de depreciação tendo em conta a atualização do capital, o preço dos combustíveis no posto de abastecimento, a eficiência do carro, a distância anual percorrida por cada veículo e ainda o custo anual de manutenção do mesmo.

A minha motivação para a escolha deste tema está diretamente relacionada com o elevado peso das emissões de gases com efeito de estufa resultantes dos transportes rodoviários e que a introdução de veículos elétricos pode ser vista como uma potencial solução capaz de mitigar este fenómeno, sendo desta forma possível a transição para uma economia de baixo carbono. Adicionalmente tenho ainda como motivação o facto de existir uma lacuna na literatura relativamente a Portugal, e de acreditar que o futuro da mobilidade em Portugal passará pelo uso do veículo elétrico.

As minhas questões de investigação podem ser identificadas como: a evolução tecnológica terá conseguido diminuir a discrepância de custos associados aos veículos elétricos face aos veículos convencionais? Haverá alguma tecnologia elétrica que tem evoluído mais favoravelmente do que outra?

O objetivo da dissertação consiste na análise do custo anual e do custo por cada

100 km no ano de 2016 em 5 países (Portugal, Espanha, França, Reino-Unido e Holanda) de cada tecnologia automóvel adotada na dissertação (100 por cento elétrico e híbrida no caso dos veículos elétricos, e ainda nas tecnologias convencionais de gasolina e gasóleo), e ainda perceber se a evolução tecnológica tem-se refletido numa baixa dos custos associados aos veículos elétricos e na melhoria da sua eficiência, uma vez que no estudo de Ajanovic (2015), os custos dos veículos elétricos eram superiores, e muito, em relação aos custos dos veículos convencionais.

Relativamente à relevância económica inerente à dissertação posso salientar uma melhoria na balança de pagamentos, com uma possível redução do défice através de uma redução nas importações petrolíferas, caso haja um aumento na utilização de veículos elétricos. Com a redução da importação de petróleo a Europa conseguirá igualmente estar menos dependente energeticamente face ao exterior. É possível ainda destacar uma contribuição para um crescimento sustentado no longo prazo e uma possível ajuda na resolução do problema do diagrama de carga: de noite há pouca atividade que exija elevados níveis de eletricidade (período vazio), mas uma grande parte de geradores continua a produzir eletricidade que se perde na rede. O carregamento automóvel durante a noite tornaria o sistema mais eficiente.

Este trabalho contribui para o estado da arte, analisando o custos anuais e custos por cada 100 km para 4 tecnologias automóveis (convencionais a gasolina e a *diesel*, híbridos e veículos elétricos de bateria) com dados para o ano de 2016, dando destaque a Portugal que raramente é citado/analizado nos estudos ligados à mobilidade elétrica.

A presente dissertação será estruturada em 3 capítulos da seguinte forma: o primeiro capítulo contempla um enquadramento teórico entre o setor dos transportes e os veículos elétricos, onde se procede à revisão de literatura, à descrição do setor dos transportes e à caracterização das tecnologias adotadas na dissertação; no segundo capítulo é apresentada a metodologia, são evidenciados tanto a amostra como os dados e o modelo adotado; e no terceiro capítulo são apresentados os resultados obtidos e sua análise. Por fim, serão apresentadas as principais conclusões do trabalho, onde são contempladas as limitações da dissertação e são ainda sugeridas algumas linhas de investigação para futuros trabalhos.

Capítulo 1. Transportes e veículos elétricos: enquadramento teórico

A questão global das alterações climáticas tem vindo a ganhar relevo tornando-se atualmente num dos maiores desafios do desenvolvimento sustentável. Quando considerando o setor dos transportes a problemática reverte para as questões ligadas à transição para uma economia de baixo carbono. Os transportes representam cerca de um quarto das emissões de carbono na Europa sendo a principal causa da poluição atmosférica e sonora nas cidades, e como tal, não é possível empreender uma descarbonização da economia e das sociedades de forma efetiva sem considerar alterações neste setor. De salientar ainda que o setor dos transportes vai ao encontro do Acordo de Paris sobre as alterações climáticas, e a sua reconversão é vista como um potencial contributo para a redução das emissões de gases com efeitos de estufa na Europa (Comissão Europeia, 2016b).

Segundo a Comissão Europeia (2016b), o Quadro Climático e Energético de 2030 aprovado pelo Conselho Europeu no mês de Outubro de 2014, contempla uma redução de emissões de gases com efeito de estufa em pelo menos 40% a nível nacional. Objetivos de eficiência energética e objetivos a nível de energias renováveis são ainda contemplados no Quadro Climático e Energético de 2030. É adotado uma abordagem global e neutra em termos tecnológicos, com o objetivo de reduzir os níveis de CO₂ e a dependência energética europeia, através da promoção da redução das emissões e do aumento da eficiência energética, na medida em que o setor dos transportes representa mais de 30 % do consumo final de energia e 24 % das emissões de gases com efeito de estufa na União Europeia. O Pacote da União da Energia aponta que o processo de eficiência energética e da descarbonização no sector dos transportes deverá ser acelerado, através de uma mudança progressiva nos combustíveis alternativos e ainda na integração dos sistemas de energia e transportes (Comissão Europeia, 2016a).

A UE deve prosseguir o seu trabalho de extensão para outras partes do mundo na procura de uma solução mundial para os problemas das alterações climáticas, ao mesmo tempo que implementa a estratégia acordada em matéria de clima e energia em todo o território da União Europeia. De modo a alcançar os seus objetivos climáticos, será

necessária uma redução significativa e rápida a nível de emissões na próxima década e todos os setores da economia estão em causa, não apenas aqueles que são intensivos em emissões (Comissão Europeia, 2010).

A transição já se iniciou, e perante a estratégia de mobilidade hipocarbónica deverá aumentar o ritmo deste processo. Este apenas será viável e concretizável se todos os intervenientes tomarem uma ação continuada e sustentada ao longo do mesmo. Apenas deste modo, a Europa assistirá com êxito a uma mudança no setor dos transportes, sendo fundamental para todos nós (Comissão Europeia, 2016a).

Chapman (2007), salienta o peso dos transportes relativamente às emissões globais de CO₂ e refere que este é um dos poucos sectores industriais onde as emissões continuam a aumentar, sendo o transporte rodoviário um dos principais responsáveis o que trará consequências nefastas a nível ambiental e económico. O autor aponta que para uma estabilização das emissões, será necessária uma mudança comportamental e não concentrar apenas em soluções tecnológicas de longo prazo, uma vez que a mudança comportamental é a base para que os benefícios associados às novas tecnologias sejam totalmente realizados. Indo ao encontro com os objetivos de redução de emissões de CO₂ do Protocolo de Quioto, será necessária uma melhoria da eficiência energética e um desenvolvimento de novos combustíveis. Na teoria, ainda segundo o autor, a tecnologia poderia fornecer a redução necessária de CO₂, mas esta seria uma solução difícil, cara e apenas de longo prazo. No curto prazo, políticas de mudança de comportamento e hábitos de viagem assumem uma maior importância. Uma combinação de impostos, regulamentações, melhor tecnologia e restrições à procura, poderão levar a uma estabilização das emissões de CO₂. Sem uma melhoria na eficiência energética ou uma aposta em tecnologias com zero emissões de carbono, a estabilização das emissões de CO₂ será tecnicamente impossível devido às políticas de transportes existentes não conseguirem reduzir significativamente as emissões de CO₂ no curto prazo.

Howey *et al.* (2010) apontam que o transporte rodoviário apresenta grande potencialidade para a redução das emissões. Os autores referem que uma mudança radical será necessária não só no nosso comportamento como também ao nível tecnológico. As tecnologias existentes não serão capazes de atingir as metas de 2050 que o Reino-Unido

se comprometeu: reduzir as emissões em 80% em relação a 2008. As emissões globais de carbono atuais até às de 2050 contribuem de forma direta na expansão na mudança climática que se assiste. Estas poderão ainda ser mais significativas caso os outros setores sofram uma descarbonização. Desta forma uma mudança radical é exigida e terá de ser suportada através dum apoio político consistente focado no longo prazo, em vários setores tais como nos veículos, nos combustíveis e no fornecimento de eletricidade.

Kehagia (2016) afirma que a mudança climática pode ser considerada uma questão de interesse global. As infraestruturas rodoviárias terão de enfrentar alguns desafios dos quais são enumerados: a insuficiente capacidade de drenagem, o risco de deslizamento e suas consequências sobre a segurança do trânsito, a deterioração das estradas e o que leva a uma maior procura de medidas de reparação e os efeitos ambientais. Algumas medidas de mitigação poderão ajudar a lidar com esta mudança climática. O conceito de mitigação tem associado ações ou medidas para limitar a magnitude ou taxa de mudanças climáticas no longo prazo, através da redução de emissões humanas de CO₂. A autora aponta como sendo as principais estratégias com objetivo de redução das emissões no transporte rodoviário a redução da intensidade de carbono do combustível, a redução da intensidade energética, a melhoria da infraestrutura dos transportes, a redução das distâncias percorridas. Estas ações de mitigação deverão integrar a política nacional dos transportes e ainda deverão ser implementadas a nível internacional, nacional e regional. A autora conclui que todas as ações políticas de combate a alteração climática dependem diretamente de uma boa base de conhecimentos das características deste fenómeno e da avaliação dos riscos associados.

De acordo com Loureiro *et al.* (2013), desenvolvimento económico pressupõe aumento da mobilidade por parte das pessoas, deste modo países mais desenvolvidos tem necessariamente maiores necessidades de mobilidade. O artigo destaca a transição para um setor de transportes mais sustentável a partir de uma perspectiva de preferência pública, neste caso uma amostra representativa espanhola, os combustíveis com baixo teor de CO₂ parecem ser uma alternativa aceitável tornando-se viável para as políticas climáticas no domínio dos transportes. Deve existir intervenção pública ativa no setor dos transportes não só devido às externalidades existentes, como também ser um controlo nas emissões futuras. Apesar de muitos instrumentos e medidas estarem disponíveis tais como os

preços (impostos sobre os combustíveis), informações ao consumidor (rótulos de eficiência energética), promoção de trânsito público, subsídios para veículos com energias renováveis alguns países parecem não estar a lidar com o problema, dado o contínuo aumento da utilização de veículos e do consumo de combustível no setor dos transportes. Os autores analisaram o caso de Espanha por ser um país desenvolvido com um grande aumento nas emissões nos transportes na sua infraestrutura rodoviária nos últimos anos, pelo tamanho da frota automóvel e ainda por uma baixa tributação a nível dos combustíveis e apresentar um dos maiores graus de dependência energética. Esperam-se mudanças significativas nos transportes, uma vez que a Espanha adotou uma abordagem bastante pró-ativa da atual legislação europeia (Diretiva 2009/28 / CE), uma vez que fixou um objetivo de energia renovável (em percentagem do consumo final de energia) no sector dos transportes 3,6 pontos acima do objetivo europeu (vinculativo de 10% para 2020).

Os potenciais ganhos ambientais ligados aos veículos elétricos, referidos por Chan *et al.* (2002), Ajanovic (2015) e Ajanovic e Haas (2016), através da redução das emissões de CO₂ resultantes de uma mobilidade elétrica, são vistos como sendo o principal impulsionador na compra deste tipo de veículo. Ao apresentarem ainda uma baixa autonomia na sua maioria, são vistos como não sendo capazes de não satisfazerem a totalidade das necessidades dos condutores. Desta forma, para um veículo elétrico torna-se essencial a nível dos impactos ambientais, ter em conta a fonte da eletricidade utilizada no seu carregamento, uma vez que os ganhos ambientais apenas serão máximos caso a eletricidade seja proveniente de fonte renovável.

De acordo com Ajanovic (2015), é-nos salientado que os potenciais ganhos ambientais (benefícios) assumem grande relevância, devido a estes serem a maior motivação na aquisição de veículos elétricos. A autora ainda destaca como sua principal conclusão, que a aposta futura em veículos elétricos está diretamente relacionada com a diminuição do custo das baterias e esta diminuição está diretamente ligada ao progresso tecnológico. Através do seu modelo de determinação de custos, é evidenciado que o custo dos veículos elétricos é bastante superior aos dos veículos convencionais devido essencialmente ao seu custo de aquisição estar diretamente ligado ao preço das baterias.

Ajanovic e Haas (2016), referem que a implementação dos veículos elétricos nos países do seu estudo (Áustria, Alemanha, Espanha, Suécia, Reino-Unido e Holanda), é essencialmente suportada por incentivos que resultam de políticas monetárias e políticas não-monetárias. É ainda salientado que os veículos elétricos contribuem para uma diminuição de emissões de gases com efeito de estufa, mas este tem como grande entrave o elevado rácio custo-benefício. Os benefícios ambientais serão alcançados e serão máximos caso a fonte da eletricidade seja uma fonte renovável.

Por sua vez Chan *et al.* (2002), apresentam-nos uma visão geral sobre os veículos elétricos e as suas tecnologias associadas, e referem que os grandes impulsionadores dos veículos elétricos são a proteção ambiental e energéticas que estes oferecem. Os autores assumem ainda que estes veículos não satisfazem as necessidades dos condutores uma vez que apresentam uma baixa autonomia.

Casals *et al.* (2016), através da análise da variação das emissões dos veículos elétricos face aos veículos convencionais tendo por base a fonte da produção da eletricidade, referem que grande parte dos países alvo do estudo (França, Noruega, Alemanha, Reino-Unido, Holanda, Suécia, Áustria, Itália, Espanha, Dinamarca, Bélgica e Portugal), apresentam uma natureza da geração da eletricidade propícia ao acolhimento de veículos elétricos, o que resultará numa redução de CO₂. Os países que apresentam uma fonte de geração poluente deverão em primeiro lugar renovar a sua estrutura, para depois ser possível acolherem a transição para a mobilidade elétrica. Nos casos em que a mobilidade não seja capaz de diminuir as emissões de CO₂, poderá trazer como impactos positivos a diminuição da dependência petrolífera da União Europeia face o exterior.

Por sua vez Dijk *et al.* (2013), apontam que o aumento de veículos elétricos está ligado essencialmente, às políticas ambientais adotadas, à incerteza no preço do petróleo, à estratégia dos construtores automóveis e ainda ao progresso tecnológico principalmente associado ao desenvolvimento das baterias. Os autores ainda apontam que os grandes investimentos por parte dos construtores automóvel no desenvolvimento dos veículos convencionais e a emergência de mercados com produção de veículos convencionais a preço muito baixo, como é o caso da China, são fatores que combatem a transição para a mobilidade elétrica.

Segundo Felgenhauer *et al.* (2016), com base no seu estudo aplicado nas comunidades da Alemanha, o potencial dos veículos elétricos de baterias tem associado um potencial de redução de CO₂, o que está ligado ao sucesso da transição energética. Os autores através do seu estudo, demonstram que os veículos elétricos de baterias - BEVs e os veículos elétricos de células de combustível - FCEVs permitem reduções semelhantes de emissões de CO₂, no entanto estas reduções podem ser realizadas a custos mais baixos com BEVs do que com FCEVs, uma vez que os BEVs requerem menos energia por km percorrido.

Sigh *et al.* (2015), apresentam três abordagens diferentes (introdução de veículos elétricos, redução na distância anual percorrida e a combinação de ambos) recorrendo a uma análise de cenários para atingir as reduções de emissões pretendidas no sector do transporte rodoviário norueguês (25%). Os resultados para os diferentes cenários apontam que os três têm a capacidade de atingir a meta norueguesa. É ainda salientado a importância da fonte da eletricidade no cenário de introdução de veículos elétricos. Sendo hidroelétrica a principal fonte de produção de eletricidade na Noruega, há grandes oportunidades ambientais com a introdução de veículos elétricos.

Zwaan *et al.* (2013), pretendem analisar possíveis vias de evolução para o sector dos transportes durante o século XXI e determinar a melhor maneira de descarbonizar o setor dos transportes, através da aplicação de modelos de sistemas de energia (TIAM-ECN). Nos cenários do estudo o uso de hidrogénio em motores de combustão interna e células de combustível, em vez de eletricidade, torna-se a tecnologia de transporte dominante. Os autores concluem que a mobilidade elétrica apenas emergirá apenas se os custos de carros elétricos diminuam em pelo menos 40 % em relação aos custos de referência do estudo. Porém, se esses custos forem reduzidos em 50%, os veículos elétricos a bateria, irão capturar o mercado, não importando quão baixo seriam os custos de infraestruturas associados aos veículos a hidrogénio.

Já em outros estudos de Tscharaktschiew (2015), Thiel *et al.* (2016), Nanaki e Koroneos (2016), Streimikiene e Sliogeriene (2011) e Santos (2017), que serão evidenciados de seguida, demonstram que a mobilidade elétrica se relaciona com os impostos nível dos combustíveis, e que ainda esta está dependente de uma legislação a

nível de CO₂ e de políticas ambientais levadas a cabo por cada país e pela UE. O preço de carbono assume um papel relevante, relativamente a transição para uma mobilidade elétrica.

Tscharaktschiew (2015), através do uso de análise de cenários com recurso a modelos de utilidade, determina que existe uma forte relação entre o nível de impostos nos combustíveis e a mobilidade elétrica, e que através dum ajustamento adequado, poderá resultar uma poupança nas emissões de CO₂.

Já Thiel *et al.* (2016), ao analisar o impacto da legislação da União Europeia sobre as emissões de CO₂ dos transportes e os impactos dos veículos elétricos na dependência petrolífera europeia, aponta que a regulamentação das emissões de CO₂ nos veículos é eficaz na redução das mesmas, através da especificação de limites nas emissões. Um limite de 70 g de emissão de CO₂ (por 100 KM), poderá levar que em 2030 as emissões serão reduzidas em mais de 5% e que a dependência petrolífera será reduzida em mais de 2% em comparação com a atual legislação.

Nanaki e Koroneos (2016), tendo por base as políticas europeias e a economia grega, através de análise de cenários, apontam para que o uso de fontes de energias alternativas ao petróleo, ou mesmo uma transição para uma mobilidade elétrica levará sempre para um cenário de baixo carbono.

Streimikiene e Sliogeriene (2011), destacam que os preços muito elevados do carbono tornam as tecnologias com baixas emissões CO₂ mais competitivas, tais como são os veículos híbridos Plug-in, apesar estas tecnologias em termos de combustível e custos dos veículos serem mais caras do que outras tecnologias. Assumindo preços muito elevados de carbono em 2050 o preço do carbono, este pressuposto será o principal determinante no ranking de tecnologias de transporte rodoviário.

Santos (2017), aponta que o transporte rodoviário gera externalidades negativas tais como a poluição do ar, o congestionamento, os acidentes, o ruído e as alterações climáticas, todos eles ligados às emissões de gases com efeito de estufa. Todos os países da Europa têm impostos sobre os combustíveis rodoviários e estes representam cerca de metade do preço líquido do combustível. No seu estudo, são comparados os impostos

atuais sobre os combustíveis rodoviários e os impostos de compensação de externalidades, com base nas externalidades negativas geradas pelo transporte rodoviário e, 22 países europeus levando em conta o efeito da taxaço do combustível na sua eficiência. A sub-tributaço parece ser um problema exclusivo para o *diesel* em todos os 22 países do estudo. Por outro lado, é ainda referido no estudo, que no caso da gasolina, os resultados apontam que alguns dos países já estão no caminho certo, como é o caso dos Países Baixos e da Alemanha, onde os impostos sobre o petróleo englobam na totalidade todos os custos externos, seguidos da Bélgica, Portugal e França, onde a proporço do imposto corrente para o imposto «corretivo» é superior a 80%, e o Reino Unido, Finlândia, Suécia e Dinamarca, onde a proporço é superior a 70%.

1.1. O Setor dos Transportes

O setor dos transportes pode ser considerado como um dos setores mais importantes de uma economia, sendo promotor de crescimento económico e criador de empregos, algo fundamental ao funcionamento do mercado único e à livre circulação de bens e pessoas. Desta forma, será possível afirmar que o crescimento económico, a integração de mercados e a atividade do setor dos transportes estão relacionados (Comissão Europeia, 2016c).

Na União Europeia, não sendo exceço, o setor dos transportes assume uma relevância económica elevada. A indústria automóvel pode ser considerada um pilar da economia europeia, na medida que é empregadora de mais de 15 milhões de trabalhadores, representado mais de 7% do emprego total. Esta é ainda considerada uma referência comercial com reconhecimento mundial relativamente à inovação e segurança (European Political Strategy Centre, 2016).

Em Dezembro de 2009, na conferência das Nações Unidas sobre as alterações climáticas realizada em Copenhaga, os líderes dos Estados-Membros da UE solicitaram reduço significativas nas emissões globais de gases de efeito de estufa. O Presidente da Comissão Europeia (Durão Barroso) sublinhou a necessidade da transição para uma

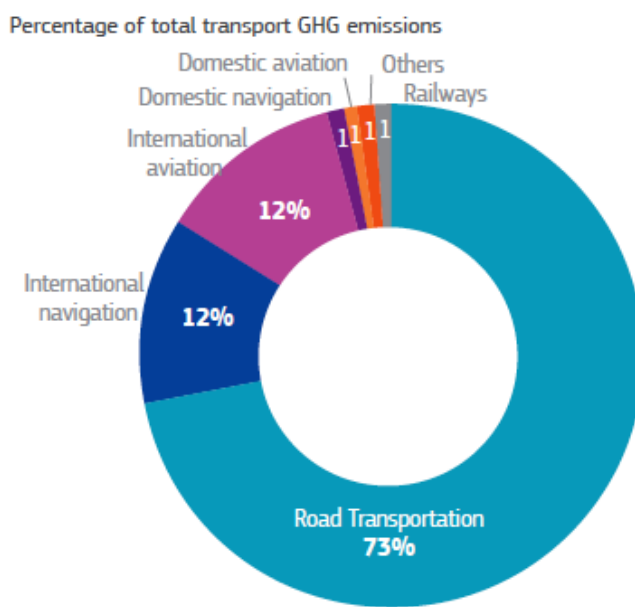
economia de baixo carbono, associando a necessidade da descarbonização do setor dos transportes (Skinner *et al.*, 2010).

Uma mudança para uma economia com baixas emissões de carbono pode ser vista como uma oportunidade de criação de emprego e para o crescimento do setor dos transportes, devido ao aumento global de mercados de mobilidade com baixas emissões (Comissão Europeia, 2016c).

No âmbito da Estratégia Europa 2020, em Março de 2010, a Comissão Europeia apresentou propostas com o objetivo de descarbonizar o setor dos transportes. Este anúncio demonstra que uma redução das emissões de gases com efeito de estufa dos transportes é fundamental para o cumprimento das metas ambiciosas de redução de CO₂ no longo prazo (Skinner *et al.*, 2010).

De forma a que a União Europeia se mantenha competitiva e dê respostas às necessidades de mobilidade quer de pessoas, quer de mercadorias, uma mobilidade com baixas emissões torna-se uma componente essencial na mudança para uma economia com um baixo nível de carbono (Comissão Europeia, 2016a).

Figura 1 – Emissões de gases com efeito de estufa no setor dos transportes



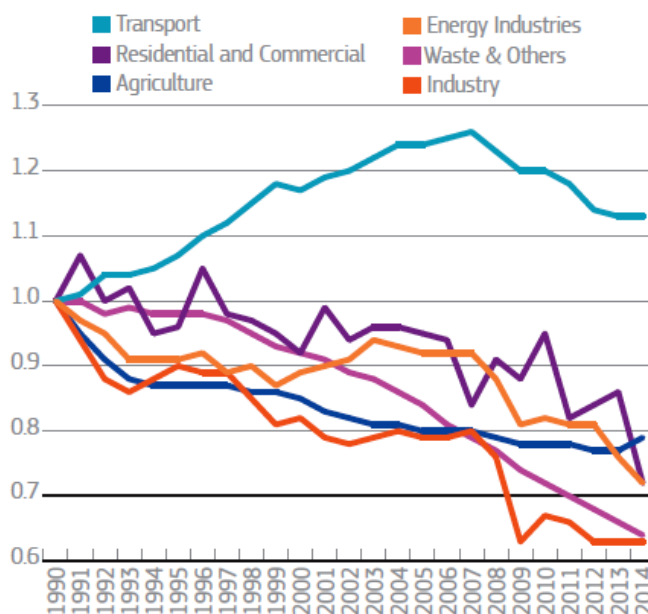
Fonte: European Political Strategy Centre (2016)

De acordo com Ajanovic (2015), o sector dos transportes, baseia-se essencialmente na energia fóssil, e apresenta-se como sendo a segunda maior fonte de emissões de gases com efeito de estufa na União Europeia, com um contributo de cerca de um quinto das emissões totais de dióxido de carbono, sendo o setor das indústrias de energia o que apresenta maiores emissões. Já analisando as emissões provenientes do setor dos transportes, o transporte rodoviário é responsável por 73% das emissões resultantes do setor dos transportes como é possível observar na figura 1 do estudo do *European Political Strategy Centre* (2016).

Os transportes, apresentando elevados níveis de emissões de dióxido de carbono, são a principal causa da poluição atmosférica nas cidades. O grande objetivo europeu, passa por reduzir em pelo menos 60 % as emissões de gases de efeito de estufa resultantes dos transportes tendo como comparação os níveis do ano de 1990 até 2050 (Comissão Europeia, 2016b).

Como é possível observar na figura 2 do *European Political Strategy Centre* (2016) as emissões de gases de efeitos de estufa no setor dos transportes não demonstrou a mesma evolução apresentada em outros setores, apresentado um crescimento até ao ano de 2007. O seu declínio a partir de 2007 deve-se essencialmente aos elevados preços do petróleo, aos aumentos de eficiência dos veículos, e ainda ao baixo crescimento económico resultante da crise económica (Comissão Europeia, 2016c).

Figura 2 – Evolução das emissões de gases com efeito de estufa nos diferentes setores



Fonte: European Political Strategy Centre (2016)

O grande problema a ser resolvido é o da transição para uma economia de baixo carbono. Desta forma, não é possível iniciar a mudança energética sem resolver em primeiro lugar o problema dos transportes. Os transportes apresentam assim um potencial contributo, na redução das emissões europeias e vão ao encontro do Acordo de Paris sobre alterações climáticas e em concordância com a Agenda de 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (Comissão Europeia, 2016b).

O processo de transição para uma mobilidade hipocarbónica já se iniciou a nível mundial e o ritmo desta, deverá aumentar, fruto da estratégia de mobilidade adotada pela UE. Esta oferece grandes oportunidades não só para os fabricantes de automóveis europeus, através da sua modernização acolhendo novas tecnologias recuperando desta forma a confiança dos consumidores, como também para outros fabricantes, indústrias e investidores para assim contribuírem para um crescimento sustentável (Comissão Europeia, 2016b).

De forma a que o setor dos transportes tome um rumo certo, as ações tomadas pela UE devem respeitar a neutralidade da tecnologia, contribuir para a criação de emprego, crescimento e investimentos tendo por base três pilares: “1) *eficiência superior no sistema*

de transportes, 2) energias alternativas com baixo nível de emissões e 3) veículos com baixo nível de emissões e com taxas nulas de emissões” (Comissão Europeia, 2016b).

Sendo o transporte rodoviário responsável por mais de 70% das emissões de gases com efeito de estufa originadas pelo setor dos transportes e por uma grande parte da poluição atmosférica, as ações a serem tomadas terão de assumir um carácter global, isto é, haverá a necessidade de um contributo por parte de cada Estado-Membro e deverão concentrar-se essencialmente neste subsector (Comissão Europeia, 2016a).

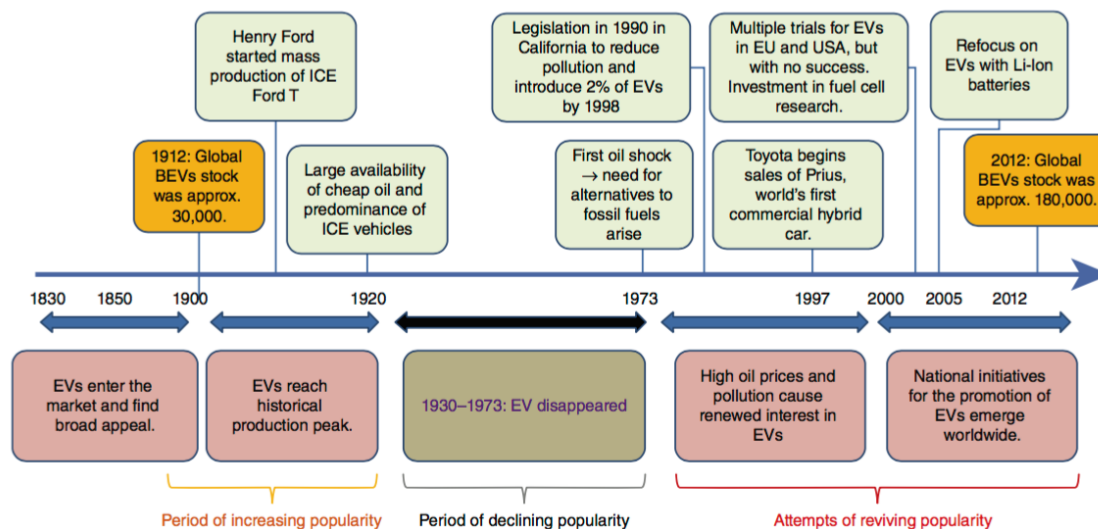
1.2. Veículos Elétricos

1.2.1. A história dos veículos elétricos

O veículo elétrico não é uma invenção recente, uma vez que este foi inventado e introduzido no século XIX, contudo, não é possível encontrar um consenso na literatura sobre a construção do primeiro veículo elétrico. Segundo Argueta (2010), foi criado entre 1832 e 1839 na Escócia; já C. Chan (2013) refere que o primeiro veículo a ser construído foi em 1834, e que apenas na última década do século XIX começaram a ser produzidos por algumas empresas localizadas nos EUA, França e Inglaterra.

A história do veículo elétrico, pode ser dividida em 3 fases segundo o estudo de Ajanovic (2015): 1) entre 1890 e 1920: fase de crescente popularidade; 2) a partir de 1920: fase de declínio e 3) a partir de 1970: fase de ganho de popularidade, como se pode observar na figura 3.

Figura 3 – Cronologia dos veículos elétricos



Fonte: Ajanovic (2015)

O auge dos veículos elétricos deu-se no período entre 1890 e 1920 (1ª fase) nos EUA onde os veículos elétricos de passageiros tinham mais sucesso do que na Europa. Inicialmente, a aceitação dos carros elétricos foi prejudicada essencialmente pela falta de infraestruturas elétricas, mas em 1912 muitas residências foram ligadas à rede elétrica, o que gerou um aumento na popularidade dos veículos elétricos. Na passagem do século, 40% dos automóveis americanos eram movidos a vapor, 38% por eletricidade e 22% por gasolina. No total, 33 842 carros elétricos foram registados nos Estados Unidos, tornando-se assim o país onde os carros elétricos tinham obtido uma maior aceitação (Chan, 2013).

Cada tecnologia associada aos diferentes veículos possuía as suas vantagens e desvantagens. O veículo elétrico era “limpo” de emissões, silencioso, não vibrava e não apresentava ainda o barulho e os cheiros associados aos veículos de combustão a gasolina, no entanto era lento e caro. Por sua vez, o veículo de combustão interna era poluente, apresentava dificuldades no arranque, mas tinha como grande vantagem a capacidade de percorrer distâncias elevadas a uma velocidade considerável sem necessidade de paragem (Chan, 2013).

Entre 1890 e 1920 os veículos elétricos eram essencialmente utilizados em zonas urbanas em detrimento de zonas rurais, o que vai ao encontro da sua limitação na autonomia (Chan, 2013), (Ajanovic, 2015).

Conscientes da baixa autonomia, os produtores de veículos elétricos de baterias nos primeiros anos do século XX, tentaram encontrar soluções eficazes que tornassem o veículo elétrico mais competitivo nas distâncias mais longas. Três medidas foram apresentadas: 1) o sistema de troca fácil de baterias, 2) a utilização do motor elétrico como carregador da bateria, através da travagem regenerativa e 3) o desenvolvimento da tecnologia híbrida (Ajanovic, 2015).

O seu declínio (2ª fase) iniciou-se a partir de 1920 e deveu-se não só a fatores técnicos como a fatores económicos. Dos fatores técnicos podem-se salientar: a melhoria das estradas que interligavam as cidades, levando desta forma a uma procura de uma maior autonomia dos veículos; os veículos de combustão interna apresentavam maior avanço tecnológico (introdução arranque elétrico e uma maior eficiência). Dos fatores económicos destaca-se: o preço dos veículos de combustão interna baixou devido à introdução e a massificação do modelo Ford T; a descoberta de petróleo no Texas que levou a uma redução no preço dos combustíveis; e ainda a tendência crescente do preço da eletricidade (Argueta, 2010), (Ajanovic, 2015).

Desta forma, o avanço tecnológico registado nos veículos convencionais e as limitações associadas às baterias fizeram com que a produção dos veículos elétricos entrasse em declínio (Ajanovic, 2015).

Com o choque petrolífero de 1970 os veículos elétricos são novamente vistos como uma alternativa aos veículos convencionais, uma vez que diversas preocupações surgiram face à oferta volátil do petróleo e ainda ao surgimento de problemas ambientais ligados à qualidade do ar (Ajanovic, 2015).

Em 1976 os EUA lançaram um programa de investigação e desenvolvimento de veículos elétricos e veículos híbridos. (Chan, 2013). Nesse período, algumas marcas de veículos elétricos a baterias foram apresentadas com propósitos experimentais e, no início da década de 90, um ressurgimento ocorreu devido à crescente preocupação ligada a

questões climáticas. No entanto, as primeiras tentativas de aumentar as vendas deste tipo de veículo não foram bem-sucedidas, essencialmente devido a problemas já existentes no passado tais como os preços elevados das baterias, limitações da autonomia e ainda pela limitação a nível de infraestruturas de carregamento (Ajanovic, 2015).

Atualmente o número de veículos elétricos é baixo face ao número total de veículos, uma vez que ainda apresentam algumas das limitações do início da sua história tais: como a baixa autonomia, preço das baterias, elevado peso das mesmas, os elevados custos de capital (comparativamente com os veículos convencionais) e ainda devido ao número reduzido de infraestruturas de carregamento das baterias (US Department of Energy, 2014).

O uso e o desenvolvimento das tecnologias dos veículos elétricos estão essencialmente ligados aos tratados, regulamentos e medidas internacionais, uma vez que a eletrificação do setor de transportes de passageiros é vista como uma possível solução no combate das emissões de carbono (US Department of Energy, 2014), (Ajanovic, 2015).

Na última década temos assistido a um aumento no interesse da eletrificação do setor dos transportes de passageiros, sendo a principal motivação os problemas associados aos combustíveis fósseis utilizados neste setor, tais como: a alta dependência petrolífera, as emissões de gases com efeitos de estufa e ainda a poluição do ar. (Ajanovic, 2013). Os veículos elétricos são vistos como a tecnologia que poderá ter a capacidade de diminuir os problemas ambientais e económicos relacionados com o setor do transporte rodoviário referidos anteriormente (Ajanovic, 2014).

1.2.2. Caracterização dos diferentes tipos de veículos elétricos

Atualmente os consumidores têm à sua disposição um leque variado de opções em relação aos diferentes tipos de veículos elétricos, tais como: os veículos elétricos híbridos, veículos puramente elétricos ou ainda, veículos elétricos com células de combustível segundo *European Environment Agency* (EEA) (2016a). Os construtores de

automóveis apresentam cinco grandes tipos de tecnologias inerentes aos veículos elétricos. As diferentes tecnologias variam essencialmente na forma de geração/recarregamento de eletricidade e ainda diferem no modo em que o motor de combustão interna e o motor elétrico são conjugados. (EEA, 2016a)

De acordo com a EEA (2016a), este *mix* tecnológico oferece aos consumidores diferentes opções na compra deste tipo de veículo tendo por base o preço, a forma de reabastecimento e ainda a sua propulsão. Uma das principais vantagens dos veículos elétricos é o desempenho energético que apresentam, uma vez que utilizam muito menos energia que os veículos convencionais.

Nesta dissertação iremos analisar apenas 2 das 5 tecnologias existentes nos veículos elétricos sendo estas descritas na seção seguinte.

Esta opção teve por base os veículos puramente elétricos e os veículos elétricos híbridos e uma vez que primeiros assumem uma maior relevância e os segundos estão a perder força na Europa e ainda na base de conseguir obter dados necessário para a dissertação.

1.2.2.1. Veículo elétrico de baterias

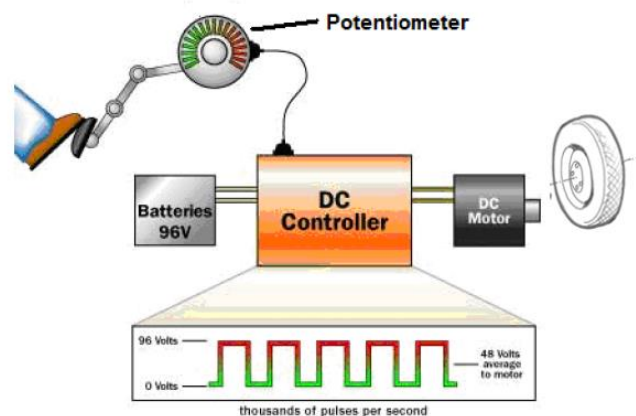
O veículo elétrico de baterias (BEV) pode ser caracterizado como sendo UM veículo exclusivamente movido por um motor elétrico, alimentado por conjuntos de baterias recarregáveis, em detrimento da utilização de um motor de combustão a gasolina. Não existe a possibilidade de eletricidade ser gerada a bordo, sendo desta forma o fornecimento de energia externa ao veículo que é efetuado através de um processo de carregamento conectando a bateria diretamente à rede elétrica (Ajanovic, 2015). Os principais componentes deste veículo elétrico são: as baterias, o motor, o regulador de corrente e ainda o potenciômetro, como se pode verificar na figura 4.

As baterias são responsáveis pelo fornecimento de energia para o regulador de corrente, existindo três tipos de baterias que variam consoante a sua potência: chumbo ácido, níquel hidreto e ainda lítio-íon (Argueta, 2010).

Por sua vez, o motor recebe energia do controlador e gira a transmissão, e esta faz girar as rodas fazendo com que o veículo funcione. O regulador de corrente retira energia das baterias e fornece-a ao motor. Pode ser fornecido tanto potência zero (quando o veículo se encontra parado), como potência total (aceleração a fundo), ou um outro qualquer nível de potência uma vez que o regulador lê o ajuste do pedal do acelerador dos dois potenciômetros regulando desta forma a potência necessária ao motor (Argueta, 2010).

Finalmente o potenciômetro, uma peça circular conectada ao pedal do acelerador, tem como função sinalizar ao regulador a quantidade de energia que deve ser entregue ao motor. Por segurança, um veículo elétrico possui dois potenciômetros, e o regulador de energia lê o sinal de ambos assegurando-se ainda que os sinais são iguais, e caso não o sejam, o regulador deixa de operar (Argueta, 2010).

Figura 4 – Componentes do veículo elétrico de baterias



Fonte: Argueta (2010)

1.2.2.2. Veículo elétrico híbrido

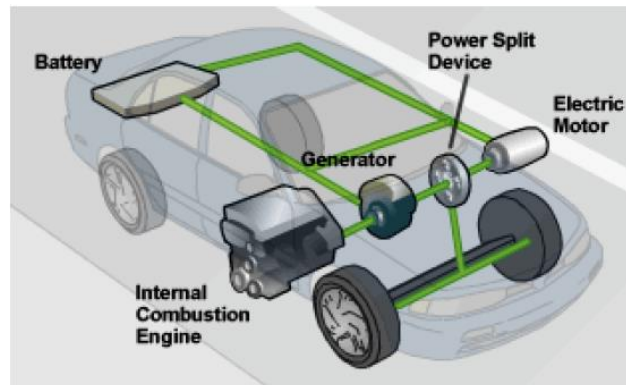
O veículo elétrico híbrido (HEV), usa uma combinação entre um motor elétrico e um motor de combustão interna. Nestes veículos, o motor de combustão é a fonte principal de fornecimento de energia sendo o motor elétrico uma fonte de energia auxiliar, como por exemplo para curtas distâncias. O veículo pode apenas ser alimentado pelo motor elétrico ou pelo motor de combustão interna. Dado que este tipo de veículo não pode ser conectado à rede elétrica, estes veículos não contribuem para uma substituição de fonte de energia fóssil (Ajanovic, 2015).

O motor elétrico é alimentado por baterias que são carregadas durante a condução. Os principais componentes do veículo elétrico híbrido são: a bateria, o motor de combustão interna, o gerador, o dispositivo de divisão de força e o motor elétrico como se pode verificar na figura 5. As baterias funcionam como dispositivo de armazenamento de energia para o motor elétrico. O motor elétrico pode não só extrair energia das baterias como pode carregá-las (Argueta, 2010).

Por sua vez, o motor de combustão é semelhante aos motores encontrados na maioria dos veículos convencionais, no entanto há um maior nível de tecnologia com o objetivo de reduzir as emissões de CO₂ e aumentar a eficiência do veículo. O motor de combustão interna recebe a sua energia do tanque de combustível. O gerador apresenta semelhanças a um motor elétrico, mas apenas produz energia elétrica para a bateria. Por outro lado, o dispositivo de divisão de força une o motor a gasolina, o gerador e o motor elétrico, criando desta forma uma transmissão contínua (Argueta, 2010).

Finalmente, o motor elétrico de um veículo híbrido tem como função não só ser um motor por si só, como também ser um gerador de energia (Argueta, 2010).

Figura 5 – Componentes do veículo elétrico híbrido



Fonte: Argueta (2010)

1.2.2.3. Veículo elétrico híbrido Plug-in

O veículo elétrico híbrido Plug-In (PHEV), apresenta uma estrutura e funcionamento muito semelhante a um veículo híbrido. A principal diferença reside no facto que a bateria deste tipo de veículo pode ser recarregada através de uma fonte externa de eletricidade. Esta pode ser igualmente carregada através da travagem regenerativa, na medida em que o motor elétrico funciona como um gerador. A bateria do PHEV tem dimensões superiores à dos HEV's, o que permite uma maior autonomia ao veículo e fornece ainda uma maior força motriz (Ajanovic, 2015).

No quadro 1 que se segue, adaptado do estudo de Chan (2002), pretende-se evidenciar as principais características, vantagens e desvantagens dos veículos elétricos de baterias, veículos elétricos híbridos e veículos convencionais (que são o objeto da nossa análise).

Quadro 1 – Comparação entre veículos elétricos de baterias, híbridos e veículos convencionais

Tipo de Veículo	BEV	HEV	Veículo Convencional
Propulsão	Motor elétrico	Motor elétrico Motor combustão interna	Motor combustão interno
Sistema energia	Bateria Ultracondensador	Bateria Unidade geradora motor combustão interna Ultracondensador	Unidade geradora motor combustão interna
Fonte Energética e infraestruturas	Rede elétrica	Postos de gasolina	Postos de gasolina
Vantagens	Zero emissões Independência face ao petróleo Maior Eficiência	Nível baixo de emissões Maior Eficiência Autonomia elevada	Diversos modelos disponíveis Diversos postos de abastecimento Autonomia elevada
Desvantagens	Disponível comercialmente Silencioso Baterias e suas manutenções Número de postos de carregamento limitado Autonomia limitada Custo investimento elevado	Disponível comercialmente Diversos postos de abastecimento Gestão de diversas fontes de energia Depende do ciclo de condução Dimensão da bateria Dependente do petróleo Emissões de CO2 Complexo	Disponível comercialmente Diversos modelos disponíveis Diversos postos de abastecimento Autonomia elevada Dependente do petróleo Emissões de CO2 elevadas Pouco eficiente

Fonte: Adaptado de: Chan (2002)

1.3. Parque automóvel de veículos elétricos Europeu

1.3.1. Nível de CO2 e impacto ambiental dos veículos elétricos

A análise dos impactos ambientais de qualquer produto exige a observação de todo o ciclo de vida do mesmo, desde o momento da extração de matérias-primas à análise dos resíduos resultantes do processo de eliminação ou de reciclagem, incluindo o processo de poluição gerada durante o seu fabrico e o processo de operação do mesmo. Desta forma, para um veículo elétrico torna-se essencial a nível dos impactos ambientais ter em conta a fonte da eletricidade utilizada durante todos os processos (EEA, 2016a).

O processo de fabrico de um veículo elétrico é geralmente mais intensivo em energia do que a construção do que um veículo convencional, necessitando os BEV's 70% mais de energia primária do que um veículo convencional, devido aos motores elétricos e às suas baterias. Desta forma, estas necessidades maiores de energia podem levar a emissões mais elevadas de gases com efeito de estufa, estando dependentes da fonte de energia utilizada (EEA, 2016a).

Ao contrário dos veículos híbridos elétricos e dos veículos convencionais, os veículos elétricos de bateria não emitem emissões de gases de escape. Deste modo, a fonte de energia elétrica, que pode ser de fonte nuclear, fóssil ou renovável, utilizada no carregamento das baterias assume grande relevância na determinação das emissões de gases ao longo do seu ciclo de vida. Assim, a eficácia ambiental dos veículos elétricos de bateria dependerá, em grande parte, da forma como é obtida da eletricidade que os alimenta. No futuro, um crescimento significativo no número de veículos elétricos gerará necessariamente um aumento na procura de eletricidade, o que exigirá não só uma capacidade de geração adequada, mas também uma capacidade de resposta por parte das redes elétricas para lidar com este aumento de procura. Pode-se considerar que as emissões do setor dos transportes rodoviários são deslocadas para o setor de produção de eletricidade. Mesmo quando a energia resulta de fontes renováveis, nos veículos elétricos não podemos considerar que as emissões são zero, na medida em que apesar de estes não emitirem gases de escape geram emissões inerentes ao desgaste de pneus, travões e estradas (EEA, 2016a).

O impacto ambiental dos PHEV's depende do seu modo de operação uma vez que este pode operar no modo totalmente elétrico, o que resulta em emissões de escape efetivamente zero, mas ao operar apenas com o motor convencional pode levar a níveis de emissão mais altos devido ao peso que as baterias incutem ao carro (EEA, 2016a).

Futuramente, caso haja uma aceitação dos veículos elétricos na UE, podemos afirmar que o setor dos transportes e o setor energético poderão ficar mais interligados. O aumento dos veículos elétricos conduz não só a uma redução dos gases de efeito de estufa (CO₂) mas também de emissões locais de poluentes atmosféricos (NOX, SO₂ e PM) no sector dos transportes. Esses efeitos positivos poderão eventualmente ser compensados (parcialmente) por emissões adicionais no setor de energia devido ao aumento da procura adicional de eletricidade, estando estes efeitos dependentes da fonte de produção de eletricidade (EEA, 2016a).

Finalmente, e segundo a EEA (2016a), um claro benefício ambiental global líquido seria gerado no caso de estarmos perante uma hipotética penetração de 80% de veículos elétricos na UE. Perante esta hipótese os gases com efeitos de estufa seriam reduzidos em 255 milhões de toneladas em relação ao cenário de comparação, em que a frota de veículos elétricos é de 8%. No entanto, se a geração de eletricidade for das centrais de carvão poderá gerar emissões de CO₂ adicionais que iram exceder a redução de emissões alcançada no setor dos transportes rodoviários de passageiros.

Todos os anos na UE, muitos milhões de toneladas de resíduos são gerados devido aos veículos em fim de vida. A legislação já existente, incluindo a diretiva da UE relativa aos veículos em fim de vida, tem como grande objetivo incentivar a reciclagem dos veículos e de reduzir os resíduos associados. As taxas de reciclagem dependem dos materiais inerentes aos veículos, sendo alguns dos materiais facilmente reciclados enquanto outros são mais difíceis de se recuperar. A grande diferença entre os veículos elétricos e os veículos convencionais resume-se essencialmente às grandes baterias e aos componentes elétricos adicionais incluindo o motor e os ímanes. As baterias de lítio-íon apresentam taxas de reciclagem elevadas e contêm menos materiais perigosos, como o chumbo e cádmio, em relação a outro tipo de baterias. Muitos fabricantes de automóveis têm como grande objetivo estabelecer um sistema de reciclagem em circuito fechado ao

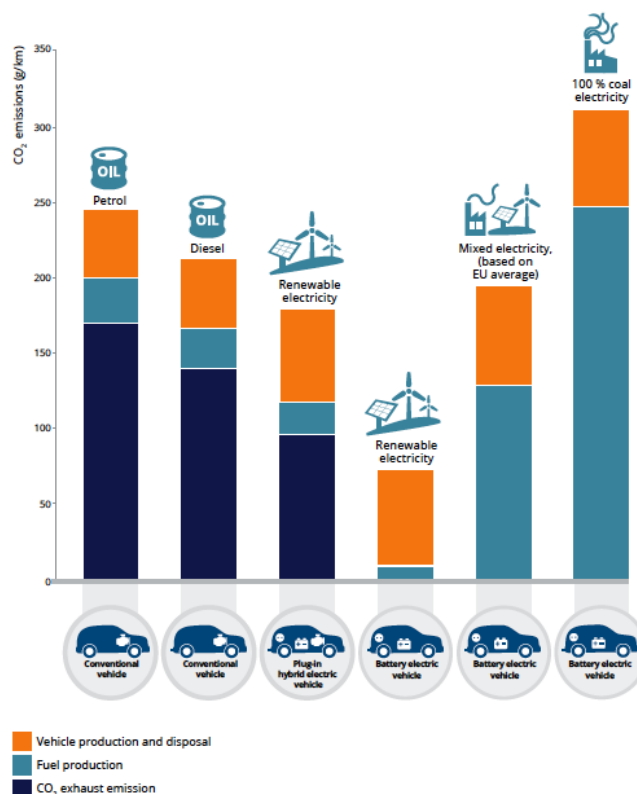
nível de baterias, isto é, fabricarem as células da bateria, montá-las nas baterias, instalá-las nos veículos e por fim reciclarem-nas para um uso futuro. Num futuro próximo, prevê-se que seja desenvolvida a reciclagem a grande escala das baterias dos veículos elétricos (EEA, 2016a).

Desta forma pode-se concluir que os ganhos ambientais ligados às emissões reduzidas durante a vida útil do veículo elétrico podem ser considerados superiores aos efeitos ambientais resultantes das fases de produção e do fim da sua vida. Com a utilização de veículos elétricos, os efeitos ambientais adversos resultantes dos veículos de passageiros convencionais poderão vir a ser bastante mitigados, desde que a eletricidade seja proveniente de fontes renováveis (EEA, 2016a).

Neste artigo da EEA (2016a) é evidenciado um estudo da *Nederlands Elektrisch*, onde os autores pretendem comparar as emissões durante todo o ciclo de vida de cada tipo de veículo e utilizam um veículo de classe média com um total de 220.000 km percorridos. As emissões resultantes ao longo do seu ciclo de vida dos veículos convencionais e dos híbridos pode ser dividido em 3 componentes: emissões que resultam da sua produção, emissões que resultam do processo produtivo do combustível e finalmente por emissões de escape. É ainda de salientar que nestes dois tipos de veículos a parte leão de emissões é claramente resultante pelas emissões de escape. Por sua vez, as emissões resultantes ao longo do ciclo da sua vida dos veículos elétricos de baterias, são divididos em apenas duas componentes: emissões que resultam da sua produção, emissões que resultam do processo produtivo do combustível, neste caso da fonte da eletricidade. É de referir que neste tipo de veículo a componente com maior peso é a que resulta do processo produtivo do combustível.

Como se pode verificar na figura 6, a fonte da energia elétrica é fulcral, pois os ganhos ambientais serão máximos quando a fonte provém de fontes renováveis. Caso estejamos no pior dos cenários, isto é, se toda a eletricidade for proveniente de centrais a carvão, as emissões de CO₂ de todo o ciclo de vida do veículo elétrico de baterias serão superiores a quaisquer emissões dos veículos convencionais (EEA, 2016a).

Figura 6 – Emissões de gases com efeito de estufa durante o ciclo de vida de cada tipo dos diferentes veículos e de diferentes fontes de produção de eletricidade



Fonte: EEA (2016a)

Torna-se desta forma relevante abordar a posição da União Europeia face às energias renováveis. Até 2020 a diretiva da UE relativa às energias renováveis estabelece um objetivo global e vinculativo em satisfazer 20% do consumo final de energia através de fontes renováveis, assumindo cada país as suas próprias metas nacionais. Os países membros da UE já chegaram a acordo sobre um novo objetivo relativamente as energias renováveis após 2020: até 2030 pelo menos 27% do consumo final de energia terá de ser proveniente de fontes renováveis. Este objetivo faz parte dos objetivos energéticos e climáticos da UE para 2030 e vem reforçar o Acordo de Paris de 2016 sobre as alterações climáticas (Transport & Environment, 2016).

Com base na EEA (2016b), a geração de eletricidade renovável na Europa na última década, provém essencialmente de fonte hidroelétrica. As tecnologias eólicas e solar estão a tornar-se competitivas ao nível das centrais de geração convencionais, e os

custos deverão cair nos próximos anos. Prevê-se um aumento importante até 2020, em grande parte devido à expansão da capacidade em terra e ao rápido crescimento de parques eólicos offshore, principalmente no Mar do Norte (Transport & Environment, 2016).

Até 2040/2050, espera-se que o fornecimento de eletricidade na Europa seja quase completamente descarbonizado, como parte da contribuição de combate às alterações climáticas. É relevante ainda de salientar o facto de os veículos elétricos serem normalmente carregados durante a noite, logo no futuro será de esperar um sistema de recarga mais inteligente e eficiente capaz de ir ao encontro e acompanhar a disponibilidade de fornecimento de eletricidade contribuindo positivamente para a gestão da oferta de eletricidade de fontes renováveis. (Transport & Environment, 2016).

1.3.2. Caracterização do mercado automóvel Europeu

A mobilidade elétrica oferece a oportunidade de tornar o setor dos transportes Europeu mais eficiente e mais “limpo”. Com vista no objetivo da descarbonização dos transportes por parte da União Europeia, será necessário a concretização da eletrificação do setor dos transportes, que trará ainda uma melhoria nos níveis de ruídos e de poluição existentes nas zonas urbanas (Transport & Environment, 2016).

No ano de 2015 o número de registo de novas matriculas de automóveis de passageiros na União Europeia registou um aumento para cerca de 13,7 milhões, estando este número 12% abaixo dos registos antes da crise económica, que eram cerca de 15,6 milhões automóveis vendidos anualmente na UE. Este declínio nas vendas foi mais acentuado nos países do sul da Europa (The International Council On Clean Transportation, 2016).

Os veículos híbridos não Plug in estão disponíveis na Europa há praticamente duas décadas. Por sua vez, os veículos elétricos a baterias, apesar de terem sido o primeiro tipo amplamente comercializado na UE, nos seus primeiros anos as suas vendas foram extremamente baixas. Em 2010, e de acordo com a EEA (2016a) foram vendidos menos

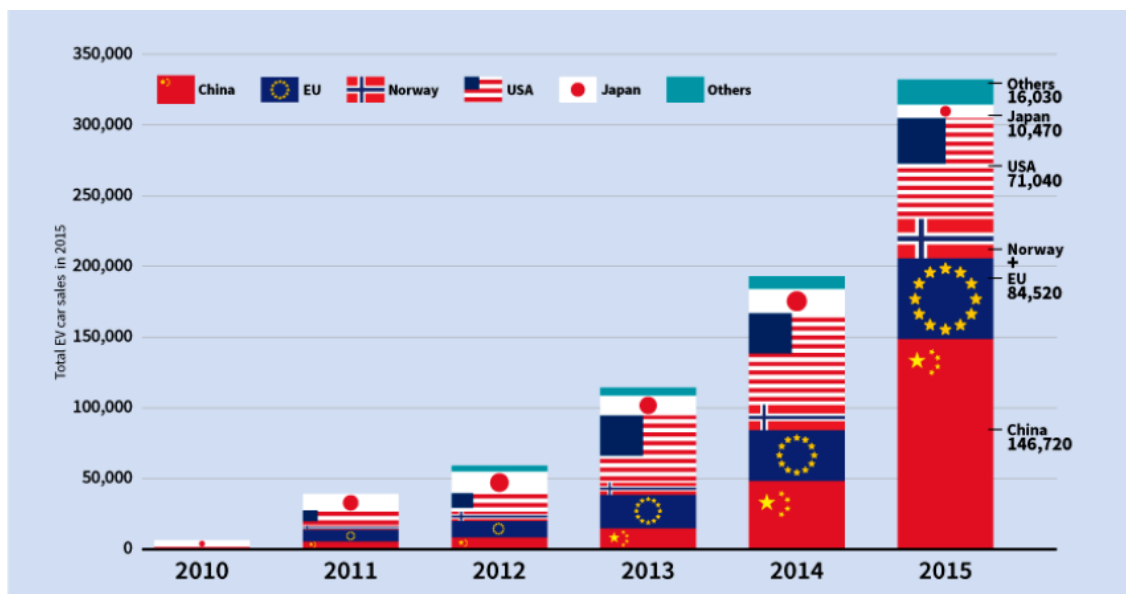
de 700 unidades deste tipo de veículo. Por sua vez, os veículos elétricos híbridos Plug-in estão disponíveis desde 2011. Nos primeiros anos as estatísticas deste tipo de veículos são incertas (EEA, 2016 a), e estes tornaram-se significativamente mais populares a partir de 2013 devido não só ao aumento da gama de modelos de veículos disponíveis para os consumidores, mas também pela promoção de alguns governos, vários tipos de subsídios para incentivar a aquisição de veículos elétricos (EEA, 2016a).

Em 2013, foram pouco mais de 49.000 veículos elétricos vendidos na UE, dos quais metade eram BEV's e metade PHEV's. Desde então, o número de veículos vendidos tem aumentado acentuadamente. Segundo os dados da EEA, para o ano de 2015, quase 150.000 novos veículos elétricos híbridos Plug-in e elétricos a bateria foram vendidos na UE, dos quais cerca de 40% eram BEV's. Apenas seis Estados-Membros registavam cerca de 90 % das vendas de todos os veículos elétricos: Holanda, Reino Unido, Alemanha, França, Suécia e Dinamarca (EEA, 2016a).

O maior número de vendas registado a nível de BEV na UE-28 foi em França (mais de 17.650 veículos), na Alemanha (mais de 12.350 veículos) e no Reino Unido (mais de 9.900 veículos). Relativamente aos PHEV's, o maior número de vendas foi registado na Holanda (mais de 41.000 veículos) e no Reino Unido (mais de 18.800 veículos) (EEA, 2016a).

Os veículos elétricos ainda constituem apenas uma pequena fração de todos os veículos novos vendidos na UE, uma vez que no ano de 2015, apenas 1,2% das vendas totais eram veículos elétricos. No entanto, em alguns países esta proporção de PHEV's e BEV's entre os veículos novos é muito maior, como é o caso da Holanda onde a proporção é cerca de 10%. A nível da União Europeia 0,15% de todos os automóveis de passageiros são elétricos. Fora da UE, a Noruega apresenta-se como sendo um país com um número elevado de vendas de veículos elétricos, onde no ano de 2015 22,5% de todos os carros novos vendidos eram elétricos (EEA, 2016a).

Figura 7 – Evolução dos diferentes mercados dos veículos elétricos



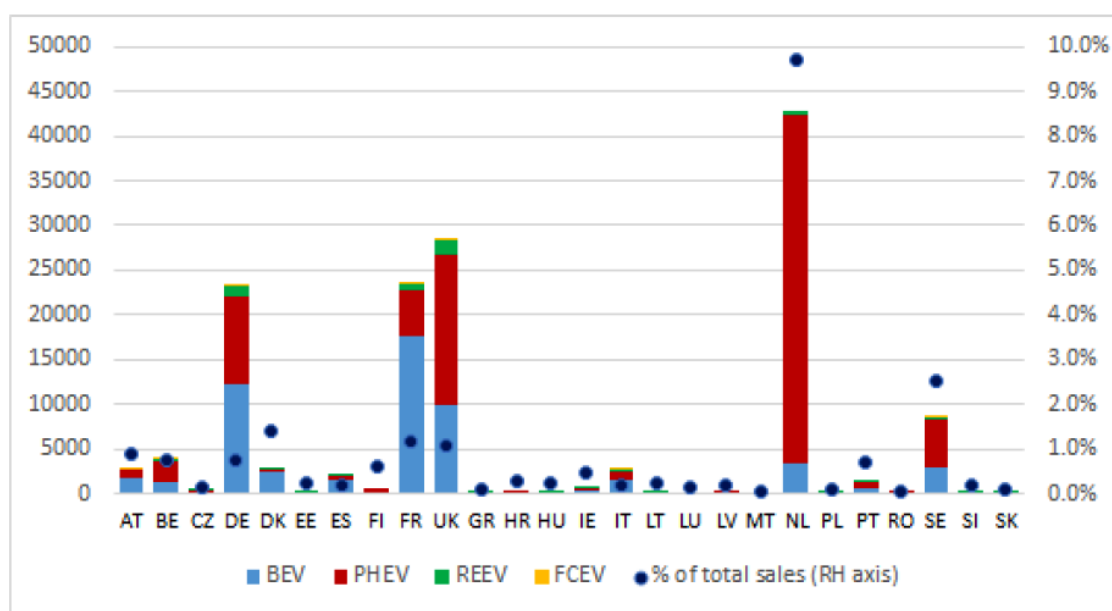
Fonte: Transport & Environment (2016)

Como se pode observar na figura 7 a UE-28 juntamente com a Noruega, faz da Europa o segundo maior mercado nível mundial no ano de 2015, sendo apenas superada pela China. Os Estados Unidos da América ocupam o 3º lugar, seguindo-se em 4º lugar o Japão. Algumas mudanças a nível de infraestruturas nas vendas e de recargas na maioria e a nível de políticas deverá ser tida em conta em alguns dos países da UE de modo a tornar-se num líder de mobilidade elétrica, competindo com a China. Este crescimento abrupto da China está diretamente relacionado com incentivos e intervenção do governo chinês. Este crescimento foi conseguido em grande parte devido aos fabricantes de veículos nacionais, relativamente aos investimentos na capacidade de produção de veículos elétricos e suas baterias. Desta forma, a China deverá permanecer a ser o maior mercado global nos anos que se seguem (Transport & Environment, 2016).

Finalmente, em 2015, as vendas de carros elétricos atingiram uma participação de mercado de 1%, com a venda de aproximadamente 150.000 unidades. No ano de 2016 registou um maior número de vendas de veículos elétricos em relação ao ano de 2015, superando a marca de 150.000 unidades registadas no ano anterior (Transport & Environment, 2016).

Ao nível das vendas de veículos elétricos, este varia consideravelmente de país para país em toda a União Europeia. No ano de 2015, a maioria dos países apresentava um nível baixo de vendas de veículos elétricos. Como é possível observar na figura 8, podemos destacar da UE a Itália e a Espanha como sendo dos maiores Estados-Membros e estes apresentarem baixas vendas não só em termos absolutos, como também ao nível da proporção das vendas de carros totais (Transport & Environment, 2016).

Figura 8 – Total de vendas de automóveis elétricos e veículos elétricos em percentagem das vendas totais nos Estados-Membros da UE em 2015



Fonte: Transport & Environment (2016)

De acordo com a *European Alternative Fuels Observatory* (EAFO) (2017b), é possível verificar que a Holanda se destaca dos restantes países pelo facto de 10% das vendas totais de veículos novos serem veículos elétricos. Estes valores estão relacionados com subsídios generosos especialmente em relação aos PHEV's. O Acordo Nacional de Energia foi assinado por mais de 40 partes de representantes de autoridades públicas e operadoras de mercado no intuito da promoção ao crescimento sustentável. Este contempla um capítulo específico sobre a mobilidade, sendo que o objetivo máximo consiste na redução das emissões de CO2 no sector da mobilidade em 17% em 2030 e em 60% em 2050, sendo que em 2035 todos os veículos recém-vendidos deverão ser livres

de emissões. Desta forma, o governo estimula a mobilidade elétrica, na medida em que esta contribui para os objetivos climáticos e para a melhoria de qualidade de vida nas cidades, através de benefícios fiscais de registo do automóvel, de propriedade e benefícios fiscais para as empresas que adotem este tipo de veículo.

O Reino-Unido assume a segunda posição a nível de veículos elétricos, e é ainda de salientar que as vendas dos PHEV's predominam (Transport & Environment, 2016). Por sua vez, a Alemanha e França apresentam números semelhantes ao nível de vendas de veículos elétricos. Em França há uma maior quota de BEV's, o que reflete a introdução do bónus *malus* baseado no CO2. Este sistema foi implementado no ano de 2008 pelo governo francês e consiste num sistema que perante um veículo que emita menos de 130 g de CO2/km será pago um bónus ao comprador (o montante varia consoante as emissões), e que perante um veículo que emita mais de 160 g de CO2/km será cobrado uma penalidade (“*malus*”) ao comprador (o montante varia igualmente consoante as emissões) (Callonnec e Sannié, 2009).

No caso de Portugal, no ano de 2015 foram registados 639 BEV's e 541 PHEV's. Já no ano de 2016 assistiu-se ao aumento da venda de veículos elétricos registando-se a venda de 784 BEV's e de 1.089 PHEV's, segundo a EAFO (2017c). Desta forma, Portugal não é dos países na União Europeia com menores níveis de vendas de veículos elétricos não só em termos absolutos como também ao nível da proporção das vendas de carros totais.

Apesar da Alemanha ter um ambicioso esquema de mobilidade elétrica, que consiste em ter um milhão de EV a circular nas ruas até 2020, só recentemente introduziu incentivos à compra deste tipo de veículos. Pode ainda destacar-se que Alemanha é o país onde existe um maior número de FCEV's (Transport & Environment, 2016).

A Suécia é o país com a segunda maior proporção de veículos elétricos entre os veículos novos, sendo o valor de 2,4%. Estes valores estão diretamente relacionados com um programa de subsídios e isenções fiscais de circulação. Todos os restantes países apresentam valores de proporção inferiores a 2%, não sendo Portugal uma exceção (Transport & Environment, 2016).

Portugal apesar de apresentar um número baixo de vendas de EV, apresenta uma proporção cerca de 1% de veículos elétricos entre os veículos novos vendidos. Note-se que embora não sendo a melhor Portugal encontra-se ligeiramente abaixo da média.

Um último facto que gostaríamos de ilustrar é praticamente a ausência de veículos elétricos no total de vendas de veículos novos no caso de Malta onde no ano de 2015, de acordo a EAFO (2017a) foram registados apenas 37 veículos elétricos.

Capítulo 2. Metodologia

A mobilidade é considerada como sendo um fator essencial para qualquer indivíduo. Sendo um dos grandes objetivos europeu a transição para uma economia de baixo carbono, os veículos elétricos assumem grande relevância uma vez que são uma potencial solução na redução dos gases de efeito de estufa no setor dos transportes, como foi referido e evidenciado no capítulo 1.

Um dos aspetos mais importantes inerente à penetração dos veículos elétricos no mercado é a sua vertente económica. Desta forma, de modo a existir uma comercialização de veículos com combustíveis renováveis e alternativos, é imperativo que estes sejam economicamente competitivos perante os veículos convencionais. Segundo Ajanovic (2015), o peso da bateria nos custos totais de um BEV representa um custo total de 23 a 58%.

Deste modo, para que as perspetivas dos veículos elétricos de bateria sejam avaliadas adequadamente é necessário ter informações precisas sobre o custo atual e futuro das baterias. Atualmente nos veículos elétricos são utilizados diferentes tipos de baterias: enquanto na maioria dos BEV, são utilizadas baterias de lítio, os híbridos não Plug-in utilizam normalmente baterias Nimh (níquel metal hidreto). Atualmente, podemos destacar três problemas associados às baterias: a baixa densidade de energia, o seu peso elevado e altos custos (Ajanovic, 2015).

Segundo Ajanovic (2015), os custos de um sistema de baterias de lítio são aproximadamente de 600-800 euros / kWh. Por sua vez, Nykvist e Nilsson (2015), mostram que as estimativas de custos em toda a indústria diminuíram aproximadamente 14% entre 2007 e 2014, de 1.000 dólares americanos por kWh para cerca de 410 dólares americanos por kWh. É ainda referido por Nykvist e Nilsson (2015) e que o custo das baterias usadas pelos fabricantes BEV líderes no mercado é ainda menor, tendo um custo de 300 dólares americanos por kWh. Os custos de veículos dependem muito da potência do carro.

Desta forma, a vertente económica dos veículos elétricos assume uma grande relevância e, o uso futuro deste tipo de tecnologia depende do desenvolvimento da

tecnologia das baterias, bem como os custos das mesmas.

A hipótese metodológica que será adotada nesta dissertação consiste na determinação de custos de mobilidade para cada tecnologia em diferentes países, através da utilização do modelo utilizado pela autora Amela Ajanovic no seu estudo “The future of electric vehicles: prospects and impediments” (2015).

Tal como referido na Introdução, o objetivo da dissertação consiste na análise do custo anual e do custo por cada 100 km associados a cada tecnologia automóvel de modo a percebermos se a evolução tecnológica terá conseguido diminuir a discrepância de custos associados aos veículos elétricos face aos veículos convencionais.

2.1. A amostra

Os países selecionados são para o estudo são Portugal, Espanha, Reino-Unido, França e Holanda. A opção por estes países baseia-se no facto de existirem diferenças quanto à legislação ambiental e fiscal, uma vez que os preços dos diferentes combustíveis, e dos diferentes automóveis variam significativamente de país para país, e pela existência de dados necessários ao nosso estudo. No caso de Portugal não foi só incluído no estudo por ser o nosso país, mas também por ele raramente ser referenciado nos estudos desta área.

Relativamente às categorias de veículos, podemos distinguir os veículos ligeiros de veículos pesados tendo por base o peso destes: se é até ou acima de 3500 kg (peso total do veículo com carga máxima que pode ser transportada), a classificação dos veículos pode ser consultada no Anexo I. Os veículos ligeiros são ainda caracterizados por apresentarem uma lotação de 8 passageiros mais o condutor (9 lugares). Quanto à finalidade, os veículos são ainda divididos em veículos de transporte de passageiros e de mercadorias (Coutinho e Carvalho e Branco, 2001).

Focando-nos nos veículos ligeiros de passageiros, estes têm como objetivo o transporte individual de passageiros em estradas não sendo projetados principalmente

para o uso comercial. Segundo Coutinho e Carvalho e Branco (2001) a Comissão Europeia, segmenta o mercado automóvel em diferentes categorias, constituindo-se desta forma vários mercados de produtos distintos. A segmentação é utilizada pela indústria e pode ser considerada como sendo um indicador importante para o posicionamento de um automóvel no mercado. Os critérios de segmentação têm por base as: motorizações, dimensões e volumetria, preços de venda, características específicas (tipo de carroçaria) ou ainda pela coerência do produto na marca (Coutinho e Carvalho e Branco, 2001).

A segmentação do mercado automóvel divide-se em 8 categorias, segundo Coutinho e Carvalho e Branco (2001):

- A: mini carros
- B: pequenos carros
- C: carros médios
- D: carros grandes
- E: carros de representação
- F: carros de luxo
- G: (todo-o-terreno, monovolumes e desportivos).

O veículo mais vendido no ano de 2016 na Europa foi o Volkswagen Golf, segundo a Motor 24 (2016), e este insere-se no segmento C. Desta forma, os veículos escolhidos para a dissertação, para todas as tecnologias, fazem parte deste segmento. Este apresenta ainda como grande vantagem diversos modelos automóveis para cada tecnologia alvo de análise na dissertação. Os critérios de escolha para cada modelo para cada tecnologia baseiam-se no facto de todos os veículos pertencerem ao segmento C, no seu volume de vendas e ainda na sua potência.

Com base no The International Council On Clean Transportation (2016), o Volkswagen Golf assume a liderança a nível de vendas e insere-se no segmento C. Desta forma, este modelo será escolhido para o tipo de veículo convencional tanto na

motorização a gasolina como na motorização a gasóleo, tendo por base os critérios previamente definidos. As motorizações escolhidas são: 1.0 TSI 110 cv 81 kw para o modelo a gasolina e 1.6 TDI 115 cv 85 kw a *diesel*. Todos os valores que irão ser adotados correspondem ao preço base de cada veículo da versão *Confortline* não incluindo nenhum opcional.

Com base no ranking de vendas de veículos elétricos e segundo a Carsalesbase (2017), constata-se que o BEV mais vendido é o Renault Zoe e o PHEV mais vendido é o Mitsubishi Outlander. Estes dois tipos de veículos não se enquadram no segmento C, uma vez que o Renault Zoe pertence ao segmento B e o Mitsubishi Outlander insere-se no segmento J. O BEV mais vendido pertencente à categoria C é o Nissan Leaf, assumindo a terceira posição a nível europeu no volume de vendas de veículos elétricos. Desta forma, para a tecnologia exclusivamente elétrica o veículo adotado é o Nissan Leaf 30 kWh de 109 cv 81 kw versão Acenta (não inclui nenhum opcional) uma vez que cumpre os critérios previamente definidos.

Relativamente aos HEVs, consultando a Carsalesbase (2017), não nos é possível encontrar nenhum veículo do segmento C. É possível mesmo destacar que os veículos elétricos mais vendidos são híbridos Plug.in todos já com elevada potência. Desta forma o modelo escolhido é Prius 1.8 Híbrido (motor a gasolina mais motor elétrico) com uma potência máxima combinada de 122 cv 90 kWh da marca Toyota, uma vez que é uma marca de referência e pioneira na produção deste tipo de veículos. Não foi possível encontrar para os diferentes países as mesmas versões relativamente aos equipamentos. Foi escolhida uma versão intermédia tal como foi eleita para os outros veículos. Desta forma para Portugal foi escolhida a versão *Luxury + Pack Techno*, para França a versão *Dynamic Pack Premium*, para Espanha a única versão disponível, para o Reino-Unido a versão *Excel* e para a Holanda a versão *Executive*.

2.2. O Modelo

Para avaliarmos economicamente as diferentes tecnologias, será adotado o modelo de Ajanovic (2015) como já foi referido, sendo que iremos determinar o custo da mobilidade anual para o ano de 2016 (euro/carro/ano). O custo de mobilidade anual compreende o custo de aquisição do automóvel, os custos de manutenção associado ao veículo (não incluindo gastos relacionados com peças de desgaste do mesmo) e os custos associados ao combustível.

A equação é dada por:

$$\text{Custo da mobilidade} = \text{IC} * \alpha + \text{P} * \text{FI} * \text{skm} + \text{Co\&m} \text{ (€/veículo/ano)} \quad (1)$$

É ainda relevante analisar e calcular o custo por cada 100 km nas diferentes tecnologias automóveis. Desta forma de modo a determinar esses custos será utilizada a equação seguinte:

$$\text{Custo km} = \frac{\text{IC} * \alpha}{\text{skm}} + \text{P} * \text{FI} + \frac{\text{Co\&m}}{\text{skm}} \quad (\text{euro/100km}) \quad (2)$$

Onde **IC** é o custo de investimento do veículo (€/veículo), **α** é a taxa de depreciação do veículo tendo em conta a atualização de capital, **P** é o preço da energia já com as taxas incluídas, isto é o preço do combustível (€/kWh), **FI** é a eficiência do carro, consumo do carro por 100/km calculado em kWh/100 km, **skm** é a distância anual percorrida pelos condutores (km/veículo/ano) e finalmente, **Co&m** é o custo anual de manutenção do veículo.

2.3. Dados

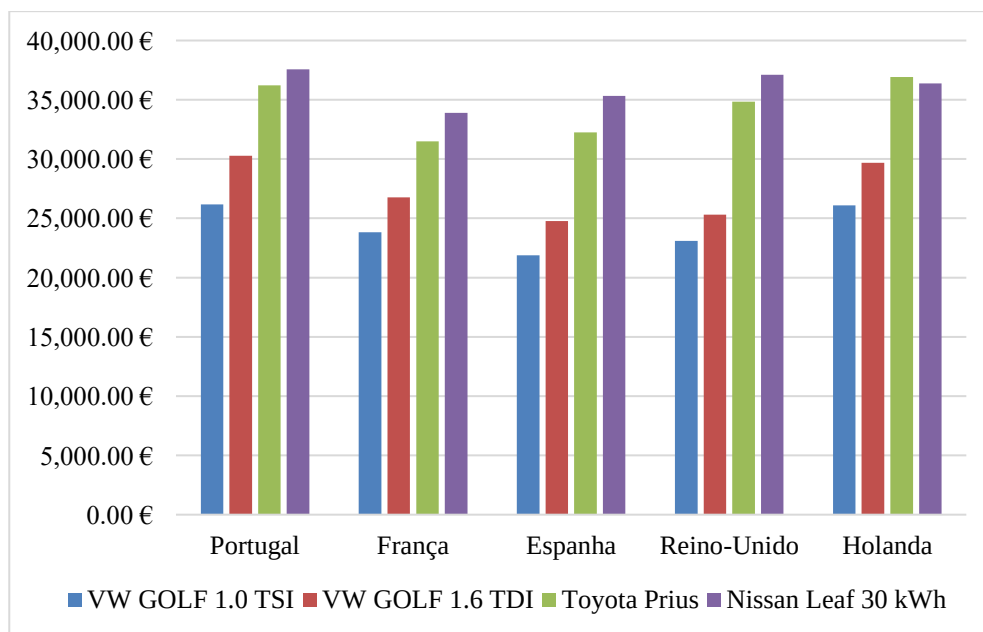
Os dados para os **IC** para todos os veículos no caso de Portugal foram todos recolhidos diretamente na marca. Segundo os conselhos de todos os vendedores os preços para os outros países foram retirados dos sites da marca, na parte do configurador automóvel da Nissan (Nissan, 2017a, 2017b, 2017c, 2017d), da Volkswagen (Volkswagen, 2017a, 2017b, 2017c, 2017d) e da Toyota (Toyota 2017a, 2017b, 2017c, 2017d). Foi-nos ainda referido que a variação do preço de 2016 para 2017 foi

insignificante, de modo que serão utilizados os valores dos automóveis do ano de 2017, e ainda, devido a esta informação ser a única disponível nas páginas de todas as marcas. O preço é o valor final do veículo incluindo já as despesas de transporte documentação e preparação associados ao veículo. Não serão incluídos nenhuns incentivos à compra dos veículos elétricos uma vez que estes mesmos incentivos são limitados e não é ainda tido em conta o valor de uma estação de carregamento, uma vez que nos foi indicado que o Nissan Leaf já inclui os cabos para o carregamento do veículo quer para a habitação doméstica quer para os outros pontos de carregamentos.

Os custos de investimento dos veículos adotados estão presentes na figura 9 e nos quadros 2, 3, 4, 5 e 6.

Pode-se observar que o veículo convencional a gasolina assume o valor mais baixo em todos os países, enquanto que os veículos elétricos apresentam um custo de aquisição mais elevado em todos os países.

Figura 9 – Custos de investimento de cada veículo nos diferentes países (em euros)



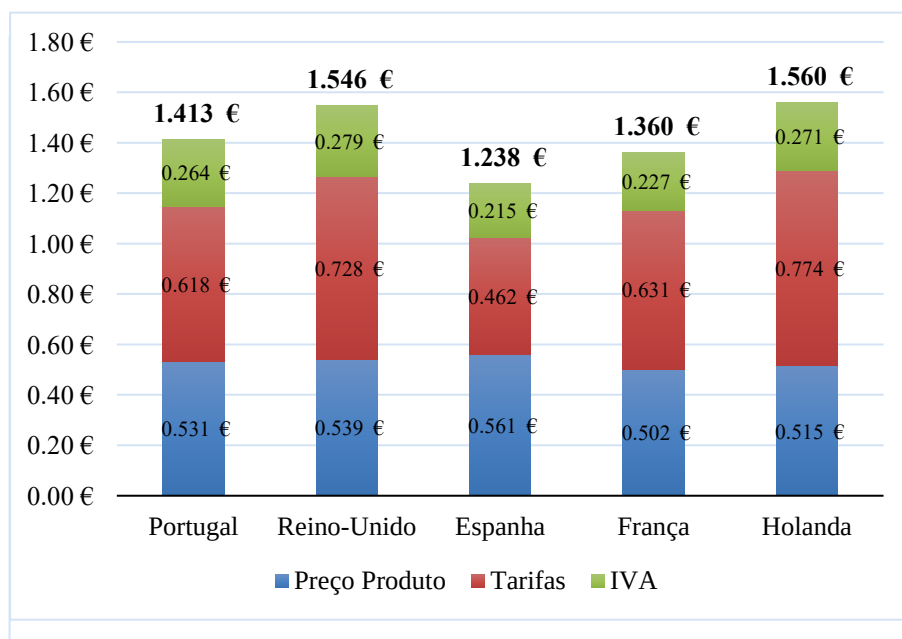
Fonte: Adaptado de Nissan (Nissan, 2017a, 2017b, 2017c, 2017d), Toyota (Toyota, 2017a, 2017b, 2017c, 2017 d) e Volkswagen (Volkswagen, 2017a, 2017b, 2017c, 2017d)

P, relativamente à gasolina e ao gasóleo os valores foram retirados do relatório estatístico do *Fuels Europe* (2016) e os preços destes são relativos ao mês de Fevereiro do ano de 2016 e estes podem ser observados nos quadros 2, 3, 4, 5 e 6 e nas figuras 10 e 11. O preço do combustível é o preço no posto de abastecimento e está dividido em 3 parcelas. A primeira parcela é constituída pelo preço do produto; a segunda parcela é composta por impostos sobre o CO₂, pela margem de distribuição e custos de marketing; por fim a terceira parcela é composta pelo IVA.

Relativamente ao gasóleo em Fevereiro de 2016, o Reino-Unido é o país mais penalizador na bomba apresentando o preço de 1.29 euros por litro, assumindo a parcela das tarifas um valor de 0,737 euros por litro. Por sua vez a Espanha apresenta-se como o país menos penalizador praticando o preço de 0,93 euros por litro. A parcela relativa às tarifas assume o valor de 0,368 euros por litro. Portugal é o segundo país mais penalizador seguindo-se da Holanda e da França.

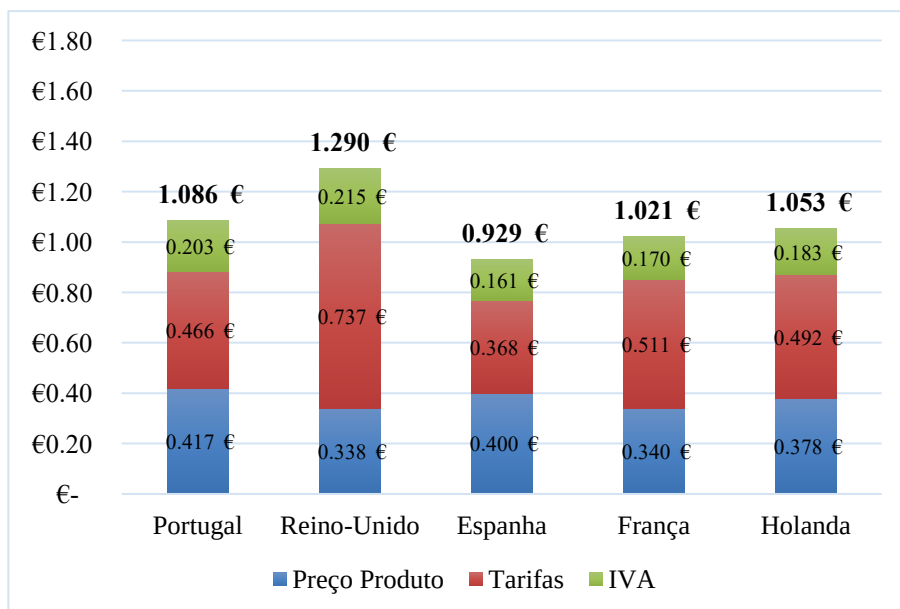
Em relação à gasolina em Fevereiro de 2016, a Holanda assume-se como sendo o país mais penalizador apresentando o preço de 1,56 euros por litro, apresentando a parcela de tarifas o valor de 0,774 euros por litro. Espanha assume-se de novo como sendo o país menos penalizador apresentando o preço de 1,237 euros por litro, assumindo a parcela das tarifas o valor de 0,462 euros por litro. O Reino-Unido é o segundo país mais penalizador seguindo-se de Portugal e da França.

Figura 10 – Preço da Gasolina nos postos de abastecimento em Fevereiro de 2016 (em euros)



Fonte: Adaptado de Fuels Europe (2016)

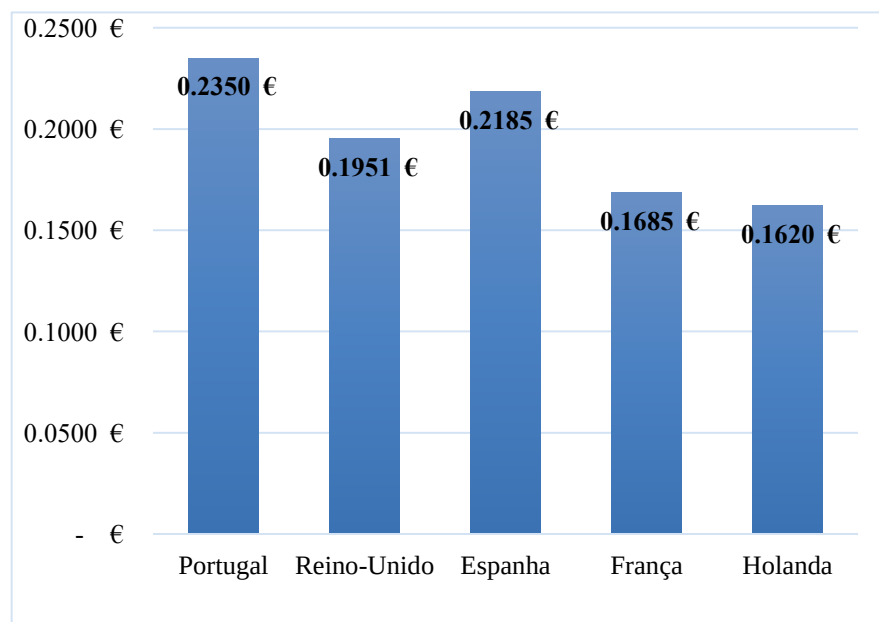
Figura 11 – Preço do Gasóleo nos postos de abastecimento em Fevereiro de 2016 (em euros)



Fonte: Adaptado de Fuels Europe (2016)

Relativamente à eletricidade, os dados foram retirados do *Eurostat* (2017) e são preços para o primeiro semestre do ano de 2016 para o consumidor doméstico e podem ser observados na figura 12. Com base no gráfico constata-se que Portugal pratica o preço de 0,2350 euros por kWh sendo o valor mais elevado dos países em estudo. Por sua vez, é na Holanda onde se verifica o preço mais baixo no preço por kWh, assumindo o valor de 0,1620 euros por kWh. O segundo preço mais elevado é o praticado em Espanha seguindo-se do Reino-Unido e da França.

Figura 12 – Preço da eletricidade para o consumidor doméstico para o semestre de 2016 (em euros)



Fonte: Adaptado de Eurostat (2017)

α é a taxa de depreciação do veículo tendo em conta a atualização de capital, neste caso a taxa de depreciação será de 25% ao ano, indo ao encontro do Regime de Depreciações e Amortizações Portuguesas (2015) e a taxa de juro é de 5%, a mesma utilizada por Ajanovic (2015), o que nos leva a um fator de recuperação de capital (CRF) (3) de 0,282.

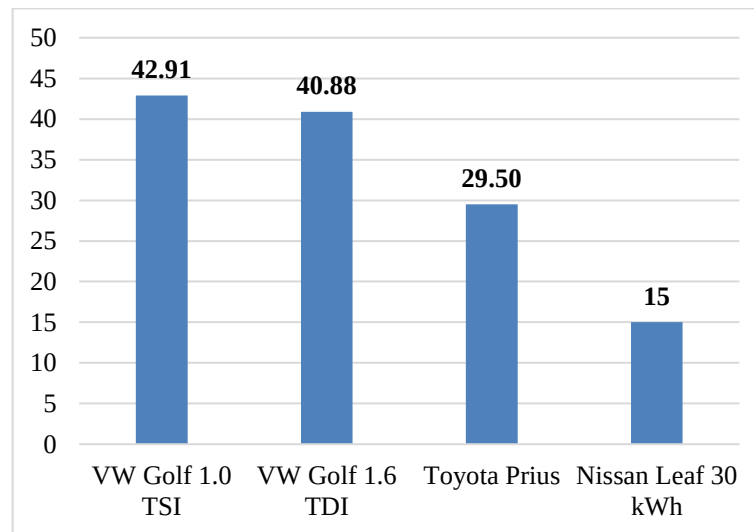
$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (3)$$

FI como já foi referido, está relacionado com a eficiência do carro, e é consumo do carro por 100/km calculado em kWh/100 km. De modo a ser possível comparar a eficiência dos veículos convencionais com os veículos elétricos é necessário converter o consumo por litro em consumo por kWh, uma vez que o consumo dos BEV é dado em kWh. De acordo com Hofstrand (2008), 1 litro de gasolina contém 32,2 megajoules e um litro de gasóleo contém 35,9 megajoules. A conversão de megajoules para kwh, segundo o ConvertWorld (2017), é de 1 kWh= 3,6 MJ. Desta forma 1 litro de gasolina equivale a 8,94 kWh e 1 litro de gasóleo equivale a 9,97 kWh. De acordo com a Nissan, a autonomia do Nissan Leaf de 30 kWh pode ir até a 250 km caso se cumpram determinadas condições, no entanto foi-nos dito que em média a autonomia ronda os 200 km por cada carga. Desta forma, o consumo médio de um Nissan Leaf é de 15 kWh/100 km. O consumo médio para o Volkswagen Golf 1.0 TSI é de 4,8 L/100 km enquanto que o consumo médio para o Volkswagen Golf 1,6 TDI é de 4,1 L/100 km, tendo sido os valores dados diretamente pelo vendedor da marca. Desta forma, o consumo do Volkswagen Golf a gasolina é de 42,91 kWh, enquanto que a motorização a gasóleo apresenta um consumo de 40,88 kWh. Relativamente ao Toyota Prius o consumo médio é de 3,3 L/100 km, sendo este retirado da ficha técnica do veículo, apresentando um consumo de 29,5 kWh.

Com base no FI em kWh, é importante salientar que o BEV assume uma maior eficiência perante os restantes veículos. Comparando os nossos valores com os de Ajanovic (2015), é de salientar que a eficiência dos veículos elétricos de baterias, pelo menos para este caso com o Nissan Leaf, sofreu melhorias significativas uma vez que os valores dos consumos desceram para metade. Os consumos dos veículos convencionais são semelhantes aos do estudo da autora, sendo que os veículos híbridos, neste caso o Toyota Prius, apresenta uma melhoria na eficiência.

Os consumos de cada veículo em kWh estão presentes nos quadros 2, 3, 4, 5 e 6 e na figura 13

Figura 13 – Consumo de cada veículo em kWh por cada 100 km



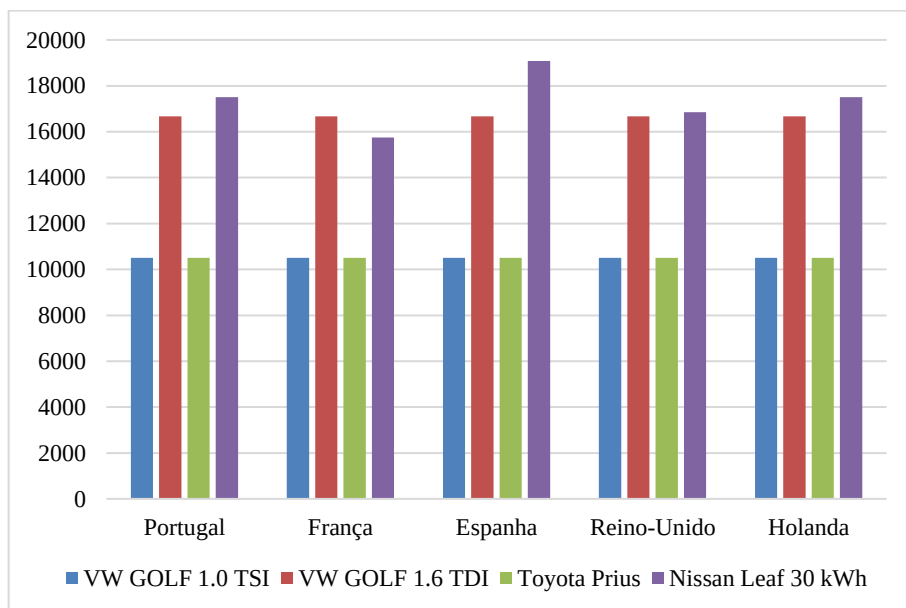
Fonte: Adaptado de Nissan (Nissan, 2017a, 2017b, 2017c, 2017d), Toyota (Toyota, 2017a, 2017b, 2017c, 2017 d) e Volkswagen (Volkswagen, 2017a, 2017b, 2017c, 2017d)

Skm assume-se relevante, na medida que varia consoante o veículo estando diretamente relacionada com a tecnologia do automóvel. A distância anual percorrida do BEV Nissan Leaf foi retirada do site da marca para o ano de 2014 segundo Dean (2015) para os países Espanha, França e Reino-Unido. No caso de Portugal e da Holanda, não é possível encontrar dados em Dean (2015). Desta forma, de modo a encontrar tais dados, contactámos o Entrepосто Auto e foram-nos indicados os valores médios de 17500 km por ano para Portugal. Será adotado o mesmo valor de 17500 km por ano para a Holanda. Relativamente às restantes tecnologias, serão adotados os mesmos valores do utilizados por Ajanovic (2015), uma vez que após o nosso contacto com a autora, esta teve dificuldades em indicar-nos a fonte da informação, não nos sendo assim possível encontrar tais dados

É de salientar que o Nissan Leaf, na maioria dos países do estudo, apresenta distâncias anuais percorridas superiores aos restantes veículos, indo ao encontro de Dean (2015), onde refere que o Nissan Leaf apresenta distâncias anuais superiores aos veículos a gasóleo e a gasolina convencionais. Por outro lado, o Volkswagen Golf 1.0 TSI e o Toyota Prius apresentam distâncias anuais iguais sendo as tecnologias que assumem os valores mais baixos.

Comparando com os valores de Ajanovic (2015) relativos às distâncias anuais percorridas pelos BEV's, é de salientar que os nossos valores são bastante superiores, sendo que na maioria dos países mais que duplicam. As distâncias anuais percorridas para cada automóvel podem ser observadas na figura 14 e nos quadros 2, 3, 4, 5 e 6.

Figura 14 – Distância anual percorrida por cada veículo em cada país em km



Fonte: Adaptado de Ajanovic (2015) e Dean (2015)

Co&m é calculado para 4 primeiros anos do veículo. Os custos utilizados nesta dissertação são os custos normais de manutenção, não incluindo algum valor relativo a peças de desgaste ou resultantes de acidentes, isto é, são os custos normais associados à manutenção de cada veículo, não incluindo pneus uma vez que este custo será semelhante entre todos os veículos, para melhor identificarmos as diferenças de custos de manutenção associados a cada tecnologia. Os detalhes dos custos de manutenção associados a cada veículo podem ser consultados no anexo II.

Para Portugal, a recolha dos dados foi diretamente na marca para todos os veículos. Para os outros países a recolha de dados no caso da Volkswagen (Volkswagen, 2017e, 2017f, 2017g, 2017h), foi utilizado o plano oficial de manutenção da marca (consultar anexo III), de modo a determinar os custos de manutenção associados ao veículo. Para o cálculo dos custos foi utilizado um simulador disponibilizado no site da marca para

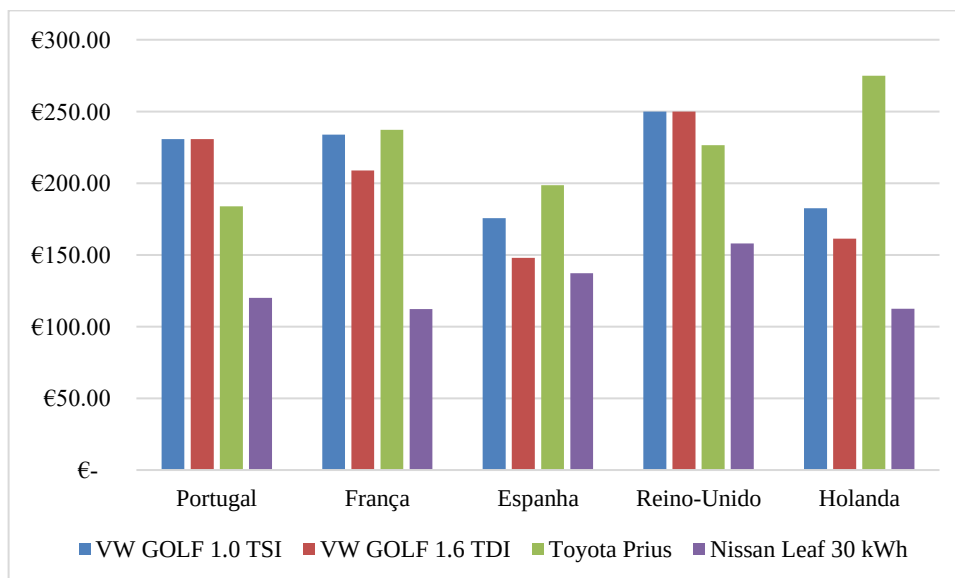
Espanha (Madrid cidade escolhida) e França (Paris cidade escolhida). No caso do Reino Unido e da Holanda foram utilizadas as tabelas de preços disponibilizados no site da marca, uma vez que após termos contactado a marca foi-nos aconselhado adotar essas mesmas tabelas. A 1ª manutenção deste veículo, tanto para gasolina como para a gasóleo, tem lugar aos 30000 km ou aos dois anos, a 2ª aos 45000 km ou 3 anos e a 3ª aos 60000 km ou 4 anos. Desta forma para determinar o custo anual de manutenção foi feito através da média das 3 intervenções quer para o modelo a gasolina quer para o modelo a gasóleo.

Os custos de manutenção do Nissan Leaf, os dados foram recolhidos diretamente do site da Nissan (Nissan, 2017e, 2017f, 2017g, 2017h) para cada país, exceto para Portugal onde os valores foram-nos cedidos diretamente na marca na Entreponto Auto. A manutenção deste veículo é anual.

No caso da manutenção do Toyota Prius, a 1ª manutenção tem lugar aos 15000 km ou 1 ano, a 2ª aos 30000 km ou 2 anos e a 3ª aos 45000 km ou 4 anos. Na nossa dissertação, uma vez que os veículos híbridos apresentam uma média anual de 10499 km será adotado o valor anual relativos a custos de manutenção. No caso do Reino Unido e da França após termos contactado a marca via e-mail foi-nos aconselhado verificar as tabelas de preços para a manutenção do veículo. Para Portugal os dados foram obtidos diretamente na marca, após termos contactado a Toyota Portugal.

Os valores totais dos **Co&m** para cada veículo em cada país podem ser observados nos quadros 2, 3, 4, 5 e 6 e na figura 15. É de salientar que o Nissan Leaf, tal como em Ajanovic (2015), é o veículo que apresenta custos de manutenção mais baixos em todos os países. Os veículos convencionais, neste caso o Volkswagen Golf, apresentam custos de manutenção semelhantes nas duas motorizações. Por sua vez o Toyota Prius, apresenta custos normalmente abaixo ou semelhantes aos dos veículos convencionais exceto na Holanda onde apresenta custos de manutenção mais elevados do que todos os outros veículos.

Figura 15 – Custos de manutenção de cada veículo em cada país (em euros)



Fonte: Adaptado de Nissan (Nissan, 2017e, 2017f, 2017g, 2017h), Toyota (Toyota, 2017e, 2017f, 2017g, 2017h) e Volkswagen (Volkswagen, 2017e, 2017f, 2017g, 2017h)

Quadro 2 – Dados para Portugal

PORTUGAL								
Veículo	Preço Veículo	Preço Combustível		Consumo Combinado 100 km		Custos Manutenção Anual	Distância Anual Percorrida km	Intensidade Combustível kWh
VW Golf 1.0 TSI	26.169,00€	1,4130€	eur/l Gasolina	4,8	l	230,63€	10.499	42,91
VW Golf 1.6 TDI	30.286,00€	1,0860€	eur/l Gasóleo	4,1	l	230,63€	16.663	40,88
Toyota Prius	36.220,00€	1,4130€	eur/l Gasolina	3,3	l	183,84€	10.499	29,50
Nissan Leaf 30 kWh	37.568,50€	0,2350€	eur/kWh	15	kWh	120,00€	17.500	15

Fonte: Adaptado de Ajanovic (2015), Fuels Europe (2016) e elaboração própria com base em comunicação pessoal

Quadro 3 – Dados para França

FRANÇA								
Veículo	Preço Veículo	Preço Combustível		Consumo Combinado 100 km		Custos Manutenção Anual	Distância Anual Percorrida km	Intensidade Combustível kWh
VW Golf 1.0 TSI	23.820,00€	1,3590€	eur/l Gasolina	4,8	l	233,75€	10.499	42,91
VW Golf 1.6 TDI	26.760,00€	1,0210€	eur/l Gasóleo	4,1	l	208,75€	16.663	40,88
Toyota Prius	31.500,00€	1,3590€	eur/l Gasolina	3,3	l	237,25€	10.499	29,50
Nissan Leaf 30 kWh	33.900,00€	0,1685€	eur/kWh	15	kWh	112,25€	15.755	15

Fonte: Adaptado de Ajanovic (2015), Fuels Europe (2016), Nissan (Nissan, 2017a, 2017e), Toyota (Toyota, 2017a, 2017g) e Volkswagen (Volkswagen, 2017b, 2017f)

Quadro 4 – Dados para Espanha

ESPANHA								
Veículo	Preço Veículo	Preço Combustível		Consumo Combinado 100 km		Custos Manutenção Anual	Distância Anual Percorrida km	Intensidade Combustível kWh
VW Golf 1.0 TSI	21.870,00€	1,2370€	eur/l Gasolina	4,8	l	175,50€	10.499	42,91
VW Golf 1.6 TDI	24.770,00€	0,9300€	eur/l Gasóleo	4,1	l	148,00€	16.663	40,88
Toyota Prius	32.250,00€	1,2370€	eur/l Gasolina	3,3	l	198,50€	10.499	29,50
Nissan Leaf 30 kWh	35.315,00€	0,2185€	eur/kWh	15	kWh	137,25€	19.084	15

Fonte: Adaptado de Ajanovic (2015), Fuels Europe (2016), Nissan (Nissan, 2017b, 2017f), Toyota (Toyota, 2017b, 2017e) e Volkswagen (Volkswagen, 2017a, 2017e)

Quadro 5 – Dados para o Reino-Unido

REINO-UNIDO								
Veículo	Preço Veículo	Preço Combustível		Consumo Combinado 100 km		Custos Manutenção Anual	Distância Anual Percorrida km	Intensidade Combustível kWh
VW Golf 1.0 TSI	23.076,63€	1,4970€	eur/l Gasolina	4,8	l	249,98€	10.499	42,91
VW Golf 1.6 TDI	25.285,77€	1,2900€	eur/l Gasóleo	4,1	l	249,98€	16.663	40,88
Toyota Prius	34.801,60€	1,4970€	eur/l Gasolina	3,3	l	226,42€	10.499	29,50
Nissan Leaf 30 kWh	37.071,93€	0,1951€	eur/kWh	15	kWh	157,88€	16.847	15

Fonte: Adaptado de Ajanovic (2015), Fuels Europe (2016), Nissan (Nissan, 2017c, 2017h), Toyota (Toyota, 2017c, 2017f) e Volkswagen (Volkswagen, 2017c, 2017h)

Quadro 6 – Dados para a Holanda

HOLANDA								
Veículo	Preço Veículo	Preço Combustível		Consumo Combinado 100 km		Custos Manutenção Anual	Distância Anual Percorrida km	Intensidade Combustível kWh
VW Golf 1.0 TSI	26.090,00€	1,5600€	eur/l Gasolina	4,8	l	182,50€	10.499	42,91
VW Golf 1.6 TDI	29.674,00€	1,0530€	eur/l Gasóleo	4,1	l	161,25€	16.663	40,88
Toyota Prius	36.930,00€	1,5600€	eur/l Gasolina	3,3	l	275,00€	10.499	29,50
Nissan Leaf 30 kWh	36.390,00€	0,1620€	eur/kWh	15	kWh	112,50€	17.500	15

Fonte: Adaptado de Ajanovic (2015), Fuels Europe (2016), Nissan (Nissan, 2017d, 2017g), Toyota (Toyota, 2017d) e Volkswagen (Volkswagen, 2017d, 2017g) e elaboração própria com base em comunicação pessoal

Capítulo 3. Resultados e Análise Crítica

Como foi referido no capítulo anterior, o total dos custos de mobilidade é composto pela soma do custo de aquisição do veículo, dos custos de manutenção associados a cada veículo e dos custos de energia (gasolina, gasóleo e eletricidade). Quer para o cálculo do custo anual, quer para o custo por cada 100 km é utilizada a taxa de depreciação do veículo tendo em conta a atualização de capital, sendo neste caso a vida útil do veículo de 4 anos e a taxa de juro de 5%.

É em Portugal e na Holanda onde se verificam custos anuais mais elevados para todos os veículos, por outro lado é em França onde se verifica um custo mais baixo para os veículos elétricos. Em Espanha, é onde se verifica um custo anual mais baixo para os veículos convencionais quer a gasolina (6 966,49 euros) quer a gasóleo (7 768,79 euros), neste caso o Volkswagen Golf.

Analisando os custos anuais de cada veículo, importa salientar que o Nissan Leaf apresenta um custo anual superior a todos os veículos em todos os países, apresentando um custo médio anual de 10806,01 euros, exceto na Holanda onde é o Toyota Prius que apresenta um maior custo anual, sendo este de 11 230,19 euros. Nos restantes países, o Toyota Prius apresenta-se como sendo o segundo veículo com maiores custos anuais, com um custo médio anual de 10398,20 euros.

Por sua vez, os veículos convencionais, são os que apresentam custos anuais mais baixos, sendo que o modelo a gasolina apresenta custos anuais mais baixos em todos os países, apresentando um custo médio anual de 7 752,79 euros.

O Volkswagen Golf a gasóleo apresenta custos anuais superiores ao Golf a gasolina (um valor médio anual de 8 649,30 euros) uma vez que o seu custo de aquisição é mais elevado e ainda a estes percorrerem aproximadamente mais 50 % de km anualmente o que se reflete num aumento de custos de combustível.

Com base nos pressupostos adotados nesta dissertação, é de esperar que os custos anuais dos veículos elétricos sejam superiores aos restantes veículos na medida em que a taxa de depreciação é de 25 %, os custos de aquisição (IC) serem os mais elevados, e

finalmente ainda, o Nissan Leaf ser o veículo que apresenta uma maior distância anual percorrida, o que se traduz num acréscimo de custos de combustível.

Desta forma, observa-se que os veículos elétricos apresentam um custo anual superior em relação aos veículos convencionais.

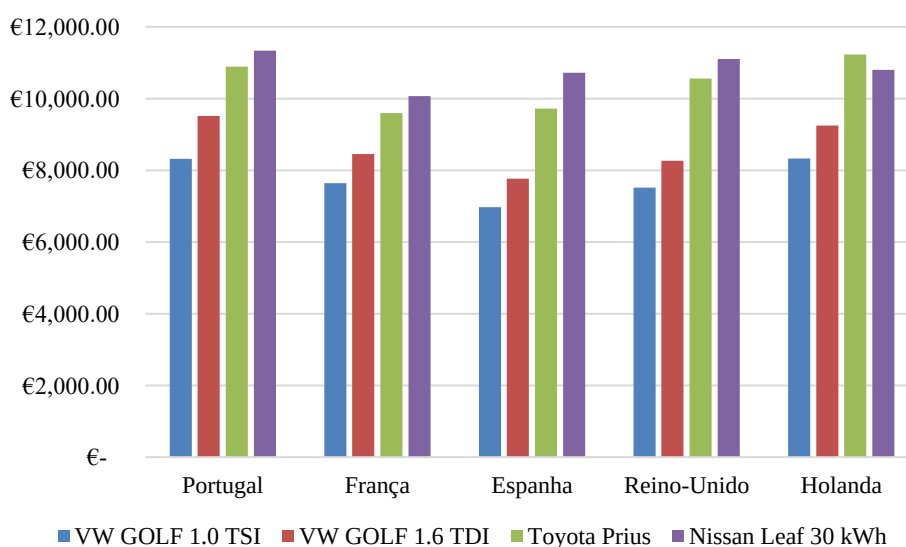
Os custos anuais de cada veículo em cada país podem ser observados na figura 16 e no quadro 7.

Quadro 7 – Custo anual de cada veículo em cada país (em euros)

Veículo	Portugal	França	Espanha	Reino-Unido	Holanda
VW Golf 1.0 TSI	8.322,68€	7.636,14€	6.966,49€	7.512,28€	8.326,35€
VW Golf 1.6 TDI	9.513,57€	8.452,92€	7.768,79 €	8.262,18€	9.249,06€
Toyota Prius	10.887,86€	9.591,47€	9.721,96€	10.559,54€	11.230,19€
Nissan Leaf 30 kWh	11.331,64€	10.070,66€	10.721,98€	11.105,63€	10.800,16€

Fonte: Elaboração própria

Figura 16 – Custo anual de cada veículo em cada país (em euros)



Fonte: Elaboração própria

Devido aos veículos apresentarem diferentes distâncias anuais percorridas, e sendo estas diferenças significativas, torna-se assim pertinente analisar os custos resultantes por cada 100 km, uma vez que os veículos com maiores distâncias anuais percorridas conseguirão diluir os seus custos de capital, enquanto que os veículos que apresentam baixas distâncias anuais percorridas tenderão a não conseguir diluir os seus custos de capital tornando-se desta forma mais caros por cada 100 km.

Analisando os custos associados a cada veículo por cada 100 km, e com base no quadro 8 e na figura 17, é possível observar que o veículo elétrico de baterias, no nosso caso o Nissan Leaf, não se apresenta como sendo o veículo com maiores custos por cada 100 km percorridos em nenhum dos países. Aliás, perante as condições e pressupostos adotados na nossa dissertação, o Nissan Leaf é uma opção que apresenta custos mais baixos por cada 100 km face, por exemplo, ao veículo convencional a gasolina, neste caso o Volkswagen Golf 1.0 TSI em todos os países. Os seus custos por cada 100 km situam-se entre 56,18 euros, em Espanha, e 65,92 euros no Reino-Unido.

Tal como em Ajanovic (2015), o veículo convencional a gasóleo, neste caso o Volkswagen Golf, assume-se como sendo a opção mais económica em todos os países, onde os seus custos se situam entre 46,62 euros em Espanha e 57,09 euros em Portugal.

Por sua vez o Golf a gasolina, apesar de se apresentar como sendo o veículo com custos anuais mais baixos, em relação aos custos por cada 100 km é a terceira tecnologia mais cara, com os custos a variarem entre 66,35 euros em Espanha e 79,31 euros na Holanda.

Por fim, o Toyota Prius, é o veículo que apresenta um custo mais elevado em todos os países por cada 100 km. Não sendo o veículo com um maior custo de aquisição, este veículo assume uma distância anual percorrida igual à do Volkswagen Golf a gasolina de apenas 8000 km por ano, o que é baixo comparativamente às distâncias percorridas pelo Nissan Leaf e pelo Volkswagen Golf a *diesel*. Desta maneira não é possível diluir os custos de capital do Toyota Prius. O HEV apesar de ser mais eficiente que os veículos convencionais, o seu elevado custo de aquisição não é compensado uma vez que este é bastante mais elevado comparativamente com os veículos convencionais,

fazendo com que este seja o veículo com custos superiores em todos os países por cada 100 km percorridos.

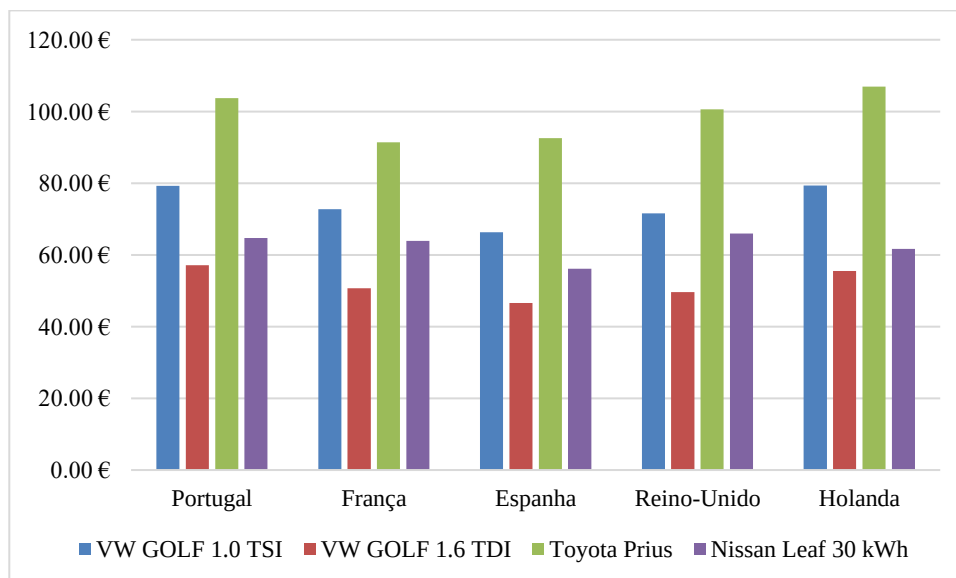
Em Ajanovic (2015), os veículos elétricos de baterias apresentavam custos superiores a 100 euros por cada 100 km, e estes, eram bastante superiores aos custos quer dos veículos convencionais a gasolina e gasóleo, quer dos veículos híbridos, chegando os custos a serem mais do dobro em alguns casos. Tais resultados surgem na medida em que os BEV apresentavam distâncias anuais percorridas bastante baixas (8000 km por ano), devido essencialmente à limitação de apresentavam face aos restantes veículos e ainda o custo de aquisição dos mesmos era superior a 50 000 euros. No nosso estudo, o Nissan Leaf na maioria dos países apresenta uma distância anual percorrida duas vezes superior a Ajanovic (2015), desta forma com mais km percorridos anualmente e devido ainda este apresentar uma maior eficiência face aos restantes veículos. Desta forma há uma diluição do custo de aquisição do veículo, fazendo com que este não seja o veículo mais caro por cada 100 km.

Quadro 8 – Custo por cada 100 km de cada veículo em cada país (em euros)

Veículo	Portugal	França	Espanha	Reino-Unido	Holanda
VW GOLF 1.0 TSI	79,27€	72,73€	66,35€	71,55€	79,31€
VW GOLF 1.6 TDI	57,09€	50,73€	46,62€	49,58€	55,51€
Toyota Prius	103,70€	91,36€	92,60€	100,58€	106,96€
Nissan Leaf 30 kWh	64,75€	63,92€	56,18€	65,92€	61,72€

Fonte: Elaboração própria

Figura 17 – Custo por cada 100 km de cada veículo em cada país (em euros)



Fonte: Elaboração própria

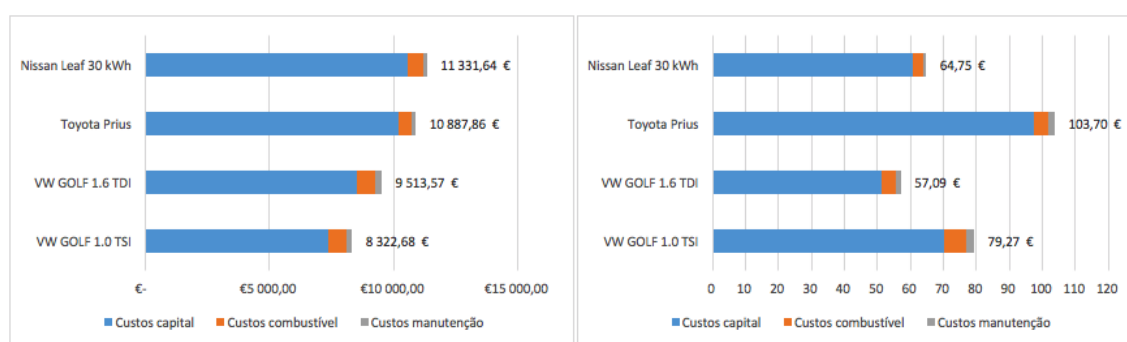
Com base nos resultados e com todos os custos determinados, é evidente que os veículos elétricos, neste caso o Nissan Leaf e o Toyota Prius se apresentaram como sendo os veículos que apresentaram custos anuais mais elevados, pelas condições já previamente faladas. No entanto, o Nissan Leaf por cada 100 km não é o veículo com custos mais elevados apresentado valores mais baixos que o Volkswagen Golf a gasolina. O Toyota Prius assumiu os valores mais elevados por cada 100 km em todos os países. Desta forma podemos considerar que os BEV poderão ser rentáveis para as famílias, mas poderão não o ser para uma empresa devido ao espaço temporal devido à sua necessidade de renovação frequente do seu parque automóvel.

Analisando as figuras 18, 19, 20 21 e 22, verifica-se que o peso dos custos de capital é a principal componente quer nos custos anuais quer nos custos por cada 100 km em todos os veículos. Observa-se desta forma que o custo de aquisição é a componente que assume maior peso e relevância, seguindo-se dos custos de combustível e finalmente os custos de manutenção. Como já referi, os BEV são os veículos que apresentam maiores custos de aquisição, o que nos leva neste período temporal adotado, a um custo anual superior aos restantes veículos, mesmo sendo estes mais eficiente que os restantes veículos e apresentando menores custos de manutenção. O Nissan Leaf é o veículo que

apresenta menores custos de combustível e menores custos de manutenção, mesmo percorrendo uma distância anual superior aos restantes veículos. Desta forma tendo por base o custo por cada 100 km observa-se que o Nissan Leaf não é o veículo com a tecnologia mais cara.

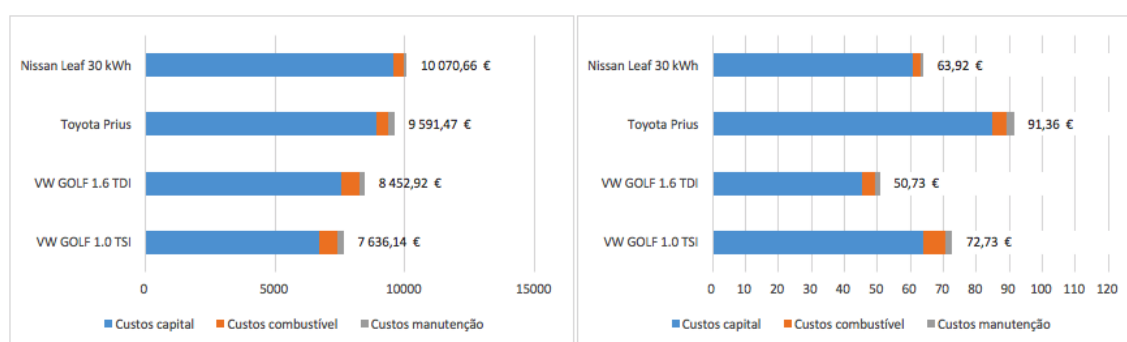
Os detalhes dos custos anuais e dos custos por cada 100 km podem ser consultados no anexo IV.

Figura 18 – Custos anuais e custos por cada 100 km em Portugal (em euros)



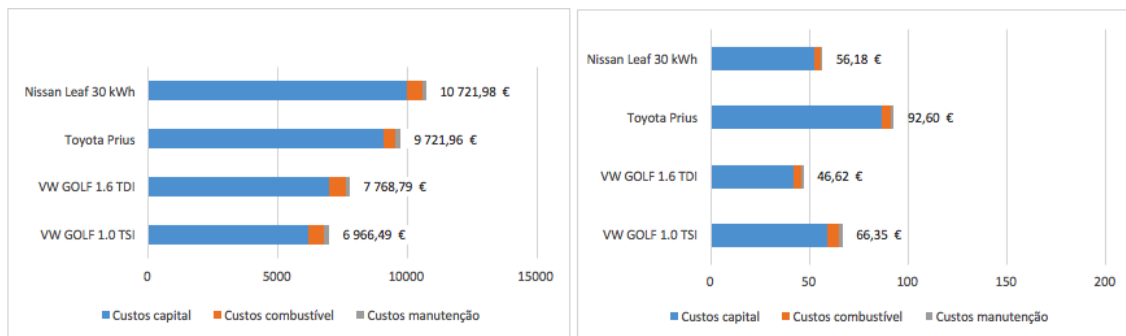
Fonte: Elaboração própria

Figura 19 – Custos anuais e custos por cada 100 km em França (em euros)



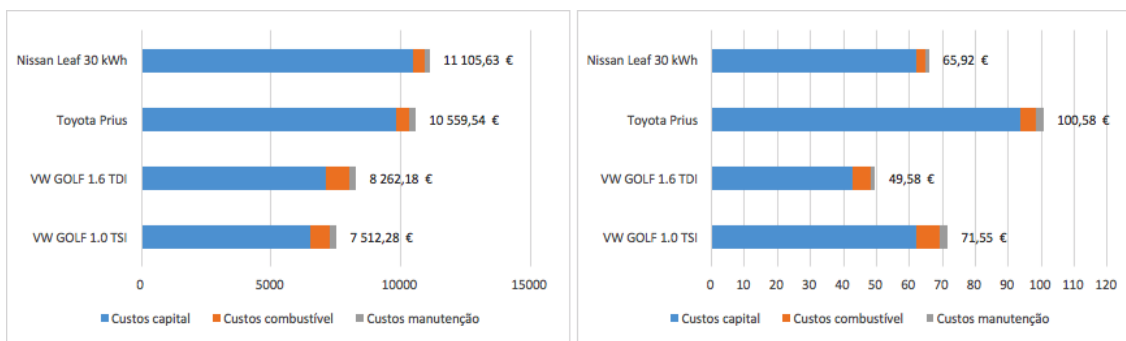
Fonte: Elaboração própria

Figura 20 – Custos anuais e custos por cada 100 km em Espanha (em euros)



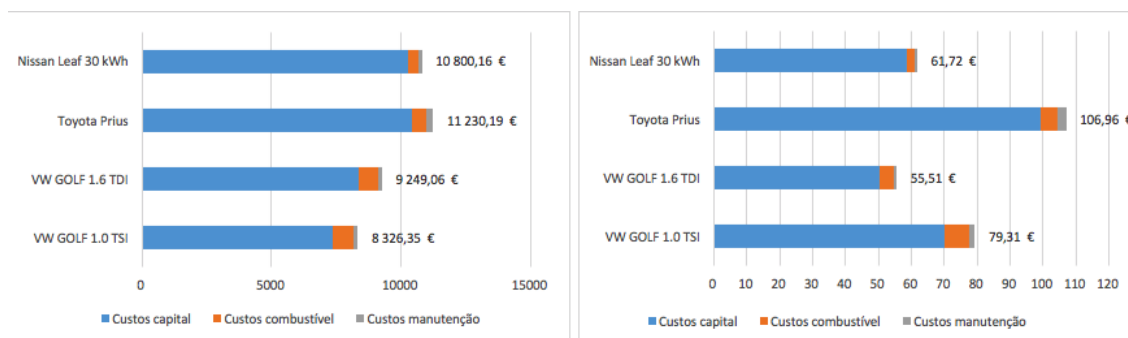
Fonte: Elaboração própria

Figura 21 – Custos anuais e custos por cada 100 km no Reino-Unido (em euros)



Fonte: Elaboração própria

Figura 22 – Custos anuais e custos por cada 100 km na Holanda (em euros)



Fonte: Elaboração própria

Conclusão

Como foi referenciado na dissertação, a questão global das alterações climáticas pode ser considerada como sendo um dos maiores desafios a nível do desenvolvimento sustentável. Os transportes representam cerca de um quarto das emissões de carbono na Europa, sendo a principal causa da poluição atmosférica e sonora nas cidades. Analisando as emissões provenientes do setor dos transportes, o transporte rodoviário é responsável por 73% destas emissões segundo o *European Political Strategy Centre* (2016).

A transição para uma economia de baixo carbono já se iniciou, mas deverá ver o seu ritmo aumentado, na medida em que os países se comprometeram em atingir metas ambientais resultantes do Acordo de Paris. Esta transição apenas será viável e concretizável se todos os intervenientes tomarem uma ação continuada e sustentada ao longo da mesma, uma vez que não é possível iniciar a transição energética sem resolver em primeiro lugar o problema dos transportes. Desta forma, os transportes apresentam um potencial contributo na redução das emissões indo ao encontro do Acordo de Paris sobre alterações climáticas e em concordância com a Agenda de 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (Comissão Europeia, 2016b).

Atualmente o número de veículos elétricos é baixo face ao número total de veículos, devido essencialmente às limitações que já apresentavam no passado como a sua baixa autonomia, o preço das baterias, os elevados custos de capital (comparativamente com os veículos convencionais) e ainda devido ao número reduzido de infraestruturas de carregamento das baterias (US Department of Energy, 2014).

Porém, na última década assistiu-se a um aumento no interesse da eletrificação do setor dos transportes de passageiros, sendo a principal motivação a alta dependência petrolífera europeia, as emissões de gases com efeitos de estufa e ainda a poluição do ar resultante dos transportes (Ajanovic, 2013). Os veículos elétricos são vistos desta forma como sendo a tecnologia que poderá ter a capacidade de mitigar os problemas ambientais e económicos associados a este setor (Ajanovic, 2014). No caso dos BEV, os ganhos ambientais serão máximos apenas quando a fonte do combustível resultar de fonte renovável, uma vez que estes veículos não emitem qualquer emissão de escape. É

fundamental ter em conta a fonte da energia elétrica caso a eletricidade for proveniente de centrais a carvão, as emissões de CO₂ de todo o ciclo de vida do veículo elétrico de baterias serão superiores a quaisquer emissões dos veículos convencionais (EEA, 2016a).

O aspeto mais importante relativamente à entrada dos veículos elétricos no mercado é a sua vertente económica. É necessário que estes veículos sejam economicamente competitivos perante os veículos convencionais.

Na nossa dissertação optamos pela determinação de custos anuais e de custos por cada 100 km de 4 tecnologias automóveis, duas convencionais e duas elétricas, escolhendo um veículo para cada tecnologia através da utilização do modelo de Ajanovic (2015) com o intuito de analisar a evolução dos custos dos veículos elétricos e verificar se estes estão ou não mais competitivos em relação ao estudo da autora.

Com base nos nossos resultados, analisando os custos anuais conclui-se que o Nissan Leaf é o veículo mais caro, seguindo-se do Toyota Prius, o que demonstra que os veículos elétricos anualmente continuam a ser os veículos mais caros face aos veículos convencionais. Já nos custos por cada 100 km, o Toyota Prius é o veículo mais caro, seguindo-se do Volkswagen Golf a gasolina. Aqui, o Nissan Leaf assume a segunda posição, como veículo com custos mais baixos, sendo apenas superado pelo Volkswagen Golf a gasóleo. É de salientar que a componente com maior peso quer nos custos anuais, quer nos custos por cada 100 km, são os custos de capital. Sendo os veículos elétricos os que apresentam um maior custo de aquisição, é de esperar que estes apresentem um maior custo anual. Nos custos por cada 100 km a distância anual assume grande relevância uma vez que no caso em que se percorram muitos kms anualmente esses custos de capital são diluídos. O Nissan Leaf, ao ser o veículo com maior distância anual percorrida, permite diluir o seu elevado custo de aquisição não fazendo deste o veículo com a tecnologia mais cara por cada 100 km.

Desta forma, os nossos resultados levam-nos a afirmar que a evolução tecnológica não foi favorável nas duas tecnologias automóveis elétricas. No caso do Nissan Leaf a evolução, pode ser considerada positiva, uma vez que esta se refletiu numa maior eficiência energética face a todos os veículos, e que a diferença de custos entre os BEV e os veículos convencionais já não é tao acentuada. No entanto no caso do Toyota Prius, os

custos anuais são superiores aos veículos convencionais, em algumas situações custos anuais são mais elevados que os custos anuais do Nissan Leaf e no caso dos custos por cada 100 km é o veículo mais caro.

Desta forma, conclui-se que mesmo havendo uma redução entre o diferencial de custos dos BEV e dos veículos convencionais, algumas barreiras terão de ser ultrapassadas de modo a que os veículos elétricos conquistem o mercado. No caso dos BEV, podemos destacar o seu elevado custo de aquisição, essencialmente ligado ao preço das baterias e à baixa autonomia. Os híbridos podem ser considerados como um elo de ligação entre as duas tecnologias, no entanto esse tipo de veículo emite emissões de CO₂, não sendo o mais indicado para a área urbana e podem ser assim considerados como uma medida de eficiência energética e não como uma solução.

Como limitações do nosso estudo é possível destacar uma amostra reduzida a nível de veículos e de países, uma vez que apenas foi utilizado um modelo para cada tecnologia e foram alvo de estudo 5 países, no caso dos custos operacionais e de manutenção foram apenas utilizados dados para a manutenção normal dos veículos, não incluindo o desgaste de pneus e não foi tido em conta o valor de seguro, ou mesmo impostos de circulação.

Para investigação futura, seria interessante a introdução de um maior período temporal e de amostra, e no caso dos veículos elétricos de baterias, introduzir o cenário de ser necessário a troca total de todos os módulos de baterias, o que teria um impacto económico significativo dos mesmos. Podemos ainda salientar que futuramente se podia estudar a possibilidade de os veículos elétricos serem carregados apenas no período noturno, onde a eletricidade assume um valor mais baixo e analisar o possível impacto no equilíbrio da rede. Esperamos que este estudo sirva de impulso para próximas investigações.

Referências bibliográficas

- Ajanovic, A. (2013). “Recent Developments in Electric Vehicles for Passenger Car Transport”, *International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering*, 7, 136-140.
- Ajanovic, A. (2014). “Promoting environmentally benign electric vehicles”, *Energy Procedia*, 57, 807-816.
- Ajanovic, A. (2015). “The future of electric vehicles: prospects and impediments”, *WIREs Energy Environ*, 4, 521-536.
- Ajanovic, A., R. Haas e F. Wirl. (2015). “On the impact policy measures on cars' CO2 emission in the EU”, *Mobility, Transport, Smart & Sustainable Cities*, 4, 109-119.
- Ajanovic, A. e R. Haas. (2016). “Dissemination of electric vehicles in urban areas: Major factors for success”, *Energy*, 1-8.
- Argueta, R. (2010). “A Technical Research Report: The Electric Vehicle”, California, University of California Santa Barbara College of Engineering .
- Autoridade Tributária e Aduaneira (2015), Regime das depreciações e amortizações, Decreto Regulamentar nº 25/2009 de 14 de Setembro, Diário da República nº 178 – I Série, Ministério das Finanças e da Administração Pública, Lisboa.
- Banco Central Europeu (2017), *Pound Sterling (GBP)*. Disponível em https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-gbp.en.html. Acedido em 25-04-2017.
- Callonnec, G. e I. Sannié (2009), “Evaluation of the Economic and Ecological Effects of the French ‘bonus malus’”, *Proceedings of the Agency for Environment and Energy Management*, Summer Study, Paris, França, 18 a 19 Maio.

Chan, C. (2002). “The State of the Art of Electric and Hybrid Vehicles”, *Proceedings of the IEEE*, 90, pp. 247-275.

Carsalesbase (2017), *European sales 2016 Q1-Q3 EV and PHEV segments*. Disponível em <http://carsalesbase.com/european-sales-2016-q1-q3-ev-phev-segments/>. Acedido em 25/04/2017.

Casals, L. C. (2016). “Sustainability analysis of the electric vehicle use in Europe for CO2 emissions reduction”, *Journal of Cleaner Production*, 127, 425-437.

Chapman, L. (2007). “Transport and climate change: a review”, *Journal of Transport Geography*, 15, 354-367.

Chan, C. (2013). “The Rise & Fall of Electric Vehicles In 1828–1930: Lessons Learned”, *Proceedings of the IEEE*, 101 pp. 206-212.

Comissão Europeia (2010), *EUROPE 2020: A strategy for smart, sustainable and inclusive growth*. Bruxelas. Disponível em <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:2020:FIN:EN:PDF>. Acedido em 10/02/2017.

Comissão Europeia (2016a), *Estratégia Europeia de Mobilidade Hipocarbónica*. Bruxelas. Disponível em <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:52016DC0501>. Acedido em 10/02/2017.

Comissão Europeia (2016b), *Communication on decarbonising the transport*. Bruxelas. Disponível em http://ec.europa.eu/smart-regulation/roadmaps/docs/2016_move_046_decarbonization_of_transport_en.pdf. Acedido em 10/02/2017.

Comissão Europeia (2016c), *Communication from the Commission to the European Parliament, The Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - A European Strategy for Low-Emission Mobility*. Bruxelas. Disponível em <http://eur-lex.europa.eu/legalcontent/en/TXT/?uri=CELEX:52016SC0244>. Acedido em 10/02/2017.

ConvertWorld (2017), *Energia*. Disponível em <http://www.convertworld.com/pt/energia/kwh.html>. Acedido em 01/05/2017.

Coutinho, C. e M. Carvalho e Branco (2001), “Segmentação do Mercado Automóvel”, Associação Portuguesa de Economistas, 200-212.

Dean, G. (2015), *Nissan’s electric car drivers cover more miles than the average petrol or diesel vehicle*. Nissan GB. Disponível em <http://newsroom.nissan-europe.com/uk/en-gb/media/pressreleases/128282>. Acedido em 01/05/2017.

Dijk M., R. J. Orsato e R. Kemp (2013), “The emergence of an electric mobility trajectory”, *Energy Policy*, 52, 135-145.

European Environment Agency - EEA (2016a), *Electric Vehicles in Europe*. Copenhaga, Relatório nº20/2016 European Environment Agency. Disponível em <http://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-in-europe>. Acedido em 15/04/2017.

European Environment Agency - EEA (2016b), *Renewable energy in Europe 2016-Recent growth and knock-on effects*. Compnhaga. Relatório nº4/2016 European Environment Agency. Disponível em <http://www.eea.europa.eu/publications/renewable-energy-in-europe> 2016. Acedido em 15/04/2017.

European Alternative Fuels Observatory - EAFO (2017a), *Malta*. Disponível em <http://www.eafo.eu/content/malta>. Acedido em 28/04/2017.

European Alternative Fuels Observatory - EAFO (2017b), *Netherlands*. Disponível em <http://www.eafo.eu/content/netherlands#country-incentives>. Acedido em 28/04/2017.

European Alternative Fuels Observatory-EAFO (2017c), *Portugal*. Disponível em <http://www.eafo.eu/content/portugal>. Acedido em 28/04/2017.

European Political Strategy Centre (2016), *Towards Low-Emission Mobility- Driving the Modernisation of the EU Economy*. Notas Estratégicas, Issue 17, Comissão Europeia, Bruxelas. Disponível em https://ec.europa.eu/epsc/sites/epsc/files/strategic_note_issue_17.pdf. Acedido em 15/04/2017.

Eurostat (2017), *Electricity prices for domestic consumers – bi-annual data (from 2007 onwards)*. Disponível em <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>. Acedido em 23/01/2017.

Felgenhauer, M., M. Pellow, S. Benson, e T. Hamacher (2016). “Economic and environmental prospects of battery and fuel cell vehicles for the energy transition in German communities”, *Energy Procedia*, 99, 380-391.

Fuels Europe (2016), *Statistical Report 2016*, Relatório, Fuels Europe, Bruxelas, Bélgica. Disponível em https://www.fuelseurope.eu/uploads/Modules/Resources/graphs_fuels_europe-2016_v12_web.pdf. Acedido em 23-01-2017.

Hofstrand, D. (2008), *Liquid Fuel measurements and conversions*, open file c6-87, Ag Decision Maker, Iowa State University. Disponível em <https://www.extension.iastate.edu/agdm/wholefarm/pdf/c6-87.pdf>. Acedido em 01/05/2017.

Howey, D., R. North e R. Martinez-Botas (2010), “Road transport technology and climate change mitigation”, Londres. Disponível em <https://workspace.imperial.ac.uk/climatechange/Public/pdfs/press/GranthamTransportBriefingPaper.pdf>. Acedido em 01/05/2017.

Kehagia, F. (2016). “Climate Change and road transport: a review”, *International Journal of Energy*, 10, 82-87.

Loureiro, M., X. Lambandeira e M. Haneman (2013). “Transport and low-carbon fuel: A study of public preferences in Spain”, *Energy Economics*, 40, 126-133.

Motor 24 (2016), *Os dez carros mais vendidos da Europa em 2016*. Disponível em <http://www.motor24.pt/motores/os-dez-carros-mais-vendidos-da-europa-em-2016/>. Acedido em 01/05/2017.

Nanaki, E., A. e Koroneos C. J. (2016). “Climate change mitigation and deployment of electric vehicles in urban areas”, *Renewable Energy*, 99, 1153-1160.

Nissan (2017a), *Configurateur - Choisissez Votre Modèle*. Disponível em <https://www.nissan.fr/vehicules/neufs/leaf/configurateur.html#configure/A>. Acedido em 05/05/2017.

Nissan (2017b), *Configura tu Nissan*. Disponível em <http://configurador.nissan.es/leaf>. Acedido em 05/05/2017.

Nissan (2017c), *Configurator – Choose Your Equipment*. Disponível em <https://www.nissan.co.uk/vehicles/new-vehicles/leaf/configurator.html#configure/A>. Acedido em 05/05/2017.

Nissan (2017d), *Configurator – Kies Uw Uitvoering*. Disponível em <https://www.nissan.nl/voertuigen/nieuw/leaf/configurator.html#configure/A>. Acedido em 05/05/2017.

Nissan (2017e), *Nissan Pack Revisions*. Disponível em http://www.nissan-molitor.fr/sav/garantie.php#nissan_pack_revisions. Acedido em 05/05/2017.

Nissan (2017f), *Garantías y Asistencia en Carretera- Nissan Mantimiento +*. Disponível em <https://www.nissan.es/propietarios/mantenimiento-reparaciones/mantenimiento-plus.html>. Acedido em 05/05/2017.

Nissan (2017g), *Routine Onderhoudscontracten*. Disponível em https://www.nissan-cdn.net/content/dam/Nissan/be/nl/Klanten/PM_BENL_CHECK.pdf. Acedido em 05/05/2017.

Nissan (2017h), *Nissan Service Care*. Disponível em <https://www.nissan.co.uk/ownership/nissan-services/service-care.html>. Acedido em 05/05/2017.

Nykvist, B., e M. Nilsson. (2015). “Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles”, *Nature Climate Change*, 5, 329-332.

Santos, G. (2017). “Road fuel taxes in Europe: Do they internalize road transport externalities?”, *Transport Policy*, 53, 120-134.

Singh, B., L. Ellingsen e A. Stromman (2015). “Pathways for GHG emission reduction in Norwegian road transport sector: Perspective on consumption of passenger car transport and electricity mix”, *Transportation Research Part D*, 41, 160-164.

Skinner, I., H. van Essen, R. Smokers e N. Hill. (2010). “*EU Transport GHG: Routes to 2050? Towards the decarbonisation of the EU’s transport sector by 2050.*” relatório final entre a Comissão Europeia e General Environment and AEA Technology.

Streimikiene, D. e J. Sliogeriene (2011). “Comparative assessment of future motor vehicles under various climate change mitigation scenarios”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 3833-3838.

The International Council On Clean Transportation (2016), *European Vehicle Market Statistics-Pocketbook* 2016/17. Relatório, Berlim, Alemanha. Disponível em <http://www.theicct.org/european-vehicle-market-statistics-2016-2017>. Acedido em 15/04/2017.

Thiel, C., W. Nijs, S. Simões, J. Schmidt, A. van Zyl e E. Schmid (2016). “The impact of the EU car CO2 regulation on the energy system and the role of electromobility to achieve transport decarbonisation”, *Energy Policy*, 96, 153-166.

Toyota (2017a), *Configurateur Toyota – Prius*. Disponível em <https://www.toyota.fr/configurateur/prius#carconfig/exterior/8ce29243-9376-4d0e-9c82-80841d56e517/854ed186-e3f6-44f2-ba1a-0e893dce0ae5>. Acedido em 01/05/2017.

Toyota (2017b), *Configurador – Prius*. Disponível em https://www.toyota.es/configurador/prius#carconfig/engine_grades/8ce29243-9376-4d0e-9c82-80841d56e517. Acedido em 01/05/2017.

Toyota (2017c), *Car Configurator – Prius*. Disponível em <https://www.toyota.co.uk/car-configurator/prius#carconfig/summary/8ce29243-9376-4d0e-9c82-80841d56e517/4216999c-848c-4001-b72a-b1d49d70ac70/4216999c-848c-4001-b72a-b1d49d70ac70>. Acedido em 01/05/2017.

Toyota (2017d), *Car Configurator – Prius*. Disponível em <https://www.toyota.nl/configure/prius#/carconfig/exterior/8ce29243-9376-4d0e-9c82-80841d56e517/c5085260-f066-4f46-80f3-b93cd7ea86eb/c5085260-f066-4f46-80f3-b93cd7ea86eb/colour/b4da34a1-391c-4b57-a153-13ac02e8da7f>. Acedido em 01/05/2017.

Toyota (2017e), *Calculadora Mantenimiento y Piezas de desgaste*. Disponível em https://www.toyota.es/service-and-accessories/service-and-maintenance/calculadora_mantenimiento.json. Acedido em 01/05/2017.

Toyota (2017f), *Intermediate Service*. Disponível em <https://www.toyota.co.uk/owners/service-mot-maintenance/servicing.json#/ajax/%2Fowners%2Fservice-mot-maintenance%2Fintermediate-service-details.json>. Acedido em 01/05/2017.

Toyota (2017g), *Prius – Forfaits Entretien*. Disponível em <http://www.toyota-france.fr/pdf/avenir-auto/PRIUS.pdf>. Acedido em 01/05/2017.

Transport & Environment (2016), *Electric Vehicles in Europe*, Bruxelas. Disponível em <https://www.transportenvironment.org/publications/electric-vehicles-europe-2016>. Acedido em 15/04/2017.

Tscharaktschiew, S. (2015). “How much should gasoline be taxed when electric vehicles conquer the market? An analysis of the mismatch between efficient and existing gasoline taxes under emerging electric mobility”, *Transportation Research Part D*, 39, 89-113.

Volkswagen (2017a), *Golf Advance- Selecciona tu motorization*. Disponível em <https://www.volkswagen.es/app/configurador/vw-es/es/nuevogolf/30316/37238/advance?page=engine>. Acedido em 01/05/2017.

Volkswagen (2017b), *Nouvelle Golf- Choisissez votre moteur*. Disponível em https://www.volkswagen.fr/app/configurateur/vw-fr/fr/nouvelle-golf/30315/37180/golf-comfortline?page=engine&_ga=2.249503746.424279761.1496768289-2030312480.1496768289. Acedido em 01/05/2017.

Volkswagen (2017c), *New Golf configurator*. Disponível em <http://www.volkswagen.co.uk/new/golf-vii-pa/configure>. Acedido em 01/05/2017.

Volkswagen (2017d), *Selecteer een motor*. Disponível em <http://configurator.volkswagen.nl/de-nieuwe-golf/comfortline?stap=motoren>. Acedido em 01/05/2017.

Volkswagen (2017e), *Calcula el mantenimiento de tu Volkswagen*. Disponível em http://calculatumantenimiento.volkswagen.es/?utm_source=posventa_mantenimiento&utm_campaign=calculadora&utm_medium=vw_site&utm_content=destacado.

Acedido em 01/05/2017.

Volkswagen (2017f), *Mon devis personnalisé*. Disponível em <http://mon-devis-en-ligne.volkswagen-entretien.fr/mon-devis-mecanique-personnalise/options>.

Acedido em 01/05/2017.

Volkswagen (2017g), *Economy service*. Disponível em <http://www.volkswagen.nl/Economy-service/Golf.aspx>. Acedido em 01/05/2017

Volkswagen (2017h), *Hadwins Volkswagen*. Disponível em <http://www.hadwinsvolkswagen.co.uk/offers/service-offer/>. Acedido a 01/05/2017

Volkswagen (sem data), *Plan de Mantenimiento Volkswagen y Desgaste habitual*. Disponível em https://www.volkswagen.es/content/dam/vw-ngw/vw_pkw/importers/es/catálogos/Plan-MantenimientoVW.pdf/jcr_content/renditions/original/Plan-MantenimientoVW.pdf. Acedido em 01/05/2017.

Zwaan, B., I. Keppo e F. Johnsson (2013). “How to decarbonize the transport sector?”, *Energy Policy*, 61, 562-573.

Anexos

Anexo I – Classificação dos veículos

CLASSIFICAÇÃO OFICIAL DE VEÍCULOS		
	Ligeiros	Pesados
Transp. Passageiros M ^(*)	VP M1	Autocarros M2, M3
Transp. Mercadorias N ^(*)	VCL N1	Camhões N2, N3
^(*) – Classificação internacional: na UE, ver p.ex., Directiva 70/156, de 06 Fevereiro de 1970. Esta classificação é a mais simples e geral, distinguindo veículos para transporte de passageiros (M), para transporte de mercadorias (N) e ainda os reboques e semi-reboques (O). Dentro de cada uma destas categorias, há divisões, consoante a lotação e/ou o peso bruto do veículo. Assim, encontram-se sub-categorias: M1 (até 9 lugares, incl. o condutor), M2 (mais de 9 lugares e peso bruto até 5 toneladas), M3 (mais de 9 lugares e peso bruto excedendo 5 ton.), N1 (peso bruto até 3,5 ton.), N2 (peso bruto sup. a 3,5 ton. e até 12 ton.), N3 (peso bruto superior a 12 ton.), O1 (peso bruto até 0,75 ton.), O2 (peso bruto entre 0,75 ton. e 3,5 ton.), O3 (peso bruto de 3,5 ton. a 10 ton.), O4 (peso bruto superior a 10 ton.).		

Fonte: Coutinho e Carvalho e Branco (2001)

Anexo II – Detalhes dos custos manutenção dos 4 veículos durante 4 anos

Quadro 9 – Plano manutenção Nissan Leaf 30 kW para os 5 países (em euros)

Plano manutenção Nissan Leaf 30 kW		
4 anos	Custo anual	País
449,00 €	112,25 €	França
549,00 €	137,25 €	Espanha
480,00 €	120,00 €	Portugal
631,53 €	157,88 €	Reino-Unido
450,00 €	112,50 €	Holanda

Fonte: Adaptado de Nissan (Nissan, 2017e, 2017f, 2017g, 2017h)

Quadro 10 – Plano manutenção Toyota Prius para os 5 países (em euros)

Plano manutenção Toyota Prius					
1 ano ou 15000 km	2 anos ou 30000 km	3 anos ou 45000 km	4 anos ou 60000 km	Custo anual	País
197,00 €	259,00 €	197,00 €	296,00 €	237,25 €	França
143,00 €	250,00 €	151,00 €	250,00 €	198,50 €	Espanha
135,84 €	213,51 €	172,48 €	213,51 €	183,84 €	Portugal
226,42 €	226,42 €	226,42 €	226,42 €	226,42 €	Reino-Unido
201,00 €	330,00 €	201,00 €	368,00 €	275,00 €	Holanda

Fonte: Adaptado de Toyota (Toyota, 2017e, 2017f, 2017g)

Quadro 11 – Plano manutenção VW Golf para os 5 países (em euros)

Plano manutenção VW Golf					
30000 km ou 2 anos	45000 km ou 3 anos	60000 km ou 4 anos	Custo anual	País	Veículo
229,00 €	134,00 €	229,00 €	148,00 €	Espanha	VW Golf 1.6 TDI
319,00 €	167,00 €	349,00 €	208,75 €	França	VW Golf 1.6 TDI
402,66 €	194,60 €	402,66 €	249,98 €	Reino- Unido	VW Golf 1.6 TDI
255,00 €	135,00 €	255,00 €	161,25 €	Holanda	VW Golf 1.6 TDI
307,50 €	307,50 €	307,50 €	230,63 €	Portugal	VW Golf 1.6 TDI
229,00 €	134,00 €	339,00 €	175,50 €	Espanha	VW Golf 1.0 TSI
289,00 €	167,00 €	479,00 €	233,75 €	França	VW Golf 1.0 TSI
402,66 €	194,60 €	402,66 €	249,98 €	Reino- Unido	VW Golf 1.0 TSI
255,00 €	135,00 €	340,00 €	182,50 €	Holanda	VW Golf 1.0 TSI
307,50 €	307,50 €	307,50 €	230,63 €	Portugal	VW Golf 1.0 TSI

Fonte: Adaptado de Volkswagen (Volkswagen, 2017e, 2017f, 2017g, 2017h)

Anexo III – Plano Oficial de manutenção do Volkswagen Golf

Plan de Mantenimiento Volkswagen y Desgaste habitual

Plan de Mantenimiento Volkswagen

Mantenimiento Oficial Volkswagen ¹
Inspección Técnica
Cambio de filtro de polvo y polen ²
Cambio de bujías (solo para vehículos con motor gasolina)
Cambio de correa de distribución
Cambio de filtro de aire
Cambio de filtro de combustible (solo para vehículos con motor diésel)
Cambio de líquido de frenos
Cambio de aceite sistema DSG (solo para vehículos con cambio DSG)
Cambio de aceite sistema 4MOTION (solo para vehículos con tracción 4MOTION)

Plan de Mantenimiento Volkswagen eléctricos

Inspección Técnica Volkswagen eléctricos
Cambio de filtro de polvo y polen
Cambio de líquido de frenos

Desgaste habitual (también para vehículos eléctricos)

Cambio de escobillas limpiaparabrisas
Cambio de neumáticos
Cambio de pastillas de freno
Cambio de discos y pastillas de freno
Cambio de batería
Cambio de amortiguadores

¹ La periodicidad de esta operación podría variar dependiendo del tipo de uso del vehículo.
² Se recomienda cambiarlo cada 60.000 km o 2 años.

Consulta todas las operaciones y sus precios en www.calculatumanutenimiento.es

30.000 km o 2 años	45.000 km o 3 años	60.000 km o 4 años	75.000 km o 5 años	90.000 km o 6 años	105.000 km o 7 años	120.000 km o 8 años	135.000 km o 9 años	150.000 km o 10 años	165.000 km o 11 años	180.000 km o 12 años
✓		✓		✓		✓		✓		✓
	✓		✓		✓		✓		✓	
✓		✓		✓		✓		✓		✓
		✓				✓				✓
							✓			
				✓						✓
			✓	✓						✓
	✓		✓		✓		✓		✓	
		✓			✓					✓
	✓			✓		✓				✓
							✓			
								✓		
									✓	
										✓
✓		✓		✓		✓		✓		✓
	✓			✓			✓			✓
		✓						✓		
			✓	✓				✓		✓
				✓						✓
			✓					✓		
							✓			
								✓		
									✓	
										✓

Como en Volkswagen, en ningún sitio.
Volkswagen Service.



Fonte: Volkswagen (sem data)

Anexo IV – Detalhes custos anuais e dos custos por cada 100 km

Quadro 12 – Detalhes custos anuais para os 5 países (em euros)

Portugal				
Veículo	Custos capital	Custos combustível	Custos manutenção	Total
VW Golf 1.0 TSI	7 379,97 €	712,08 €	230,63 €	8 322,68 €
VW Golf 1.6 TDI	8 541,01 €	741,94 €	230,63 €	9 513,57 €
Toyota Prius	10 214,47 €	489,56 €	183,84 €	10 887,86 €
Nissan Leaf 30 kWh	10 594,76 €	616,88 €	120,00 €	11 331,64 €

França				
Veículo	Custos capital	Custos combustível	Custos manutenção	Total
VW Golf 1.0 TSI	6 717,52 €	684,87 €	233,75 €	7 636,14 €
VW Golf 1.6 TDI	7 546,64 €	697,53 €	208,75 €	8 452,92 €
Toyota Prius	8 883,37 €	470,85 €	237,25 €	9 591,47 €
Nissan Leaf 30 kWh	9 560,20 €	398,21 €	112,25 €	10 070,66 €

Espanha				
Veículo	Custos capital	Custos combustível	Custos manutenção	Total
VW Golf 1.0 TSI	6 167,60 €	623,39 €	175,50 €	6 966,49 €
VW Golf 1.6 TDI	6 985,43 €	635,36 €	148,00 €	7 768,79 €
Toyota Prius	9 094,88 €	428,58 €	198,50 €	9 721,96 €
Nissan Leaf 30 kWh	9 959,25 €	625,48 €	137,25 €	10 721,98 €

Reino-Unido				
Veículo	Custos capital	Custos combustível	Custos manutenção	Total
VW Golf 1.0 TSI	6 507,88 €	754,42 €	249,98 €	7 512,28 €
VW Golf 1.6 TDI	7 130,89 €	881,31 €	249,98 €	8 262,18 €
Toyota Prius	9 814,46 €	518,66 €	226,42 €	10 559,54 €
Nissan Leaf 30 kWh	10 454,72 €	493,03 €	157,88 €	11 105,63 €

Holanda				
Veículo	Custos capital	Custos combustível	Custos manutenção	Total
VW Golf 1.0 TSI	7 357,69 €	786,17 €	182,50 €	8 326,35 €
VW Golf 1.6 TDI	8 368,42 €	719,39 €	161,25 €	9 249,06 €
Toyota Prius	10 414,70 €	540,49 €	275,00 €	11 230,19 €
Nissan Leaf 30 kWh	10 262,41 €	425,25 €	112,50 €	10 800,16 €

Fonte: Elaboração própria

Quadro 13 – Detalhes custos por cada 100 km para os 5 países (em euros)

Portugal				
Veículo	Custos capital	Custos combustível	Custos manutenção	Total
VW Golf 1.0 TSI	70,29 €	6,78 €	2,20 €	79,27 €
VW Golf 1.6 TDI	51,26 €	4,45 €	1,38 €	57,09 €
Toyota Prius	97,29 €	4,66 €	1,75 €	103,70 €
Nissan Leaf 30 kWh	60,54 €	3,53 €	0,69 €	64,75 €

França				
Veículo	Custos capital	Custos combustível	Custos manutenção	Total
VW Golf 1.0 TSI	63,98 €	6,52 €	2,23 €	72,73 €
VW Golf 1.6 TDI	45,29 €	4,19 €	1,25 €	50,73 €
Toyota Prius	84,61 €	4,48 €	2,26 €	91,36 €
Nissan Leaf 30 kWh	60,68 €	2,53 €	0,71 €	63,92 €

Espanha				
Veículo	Custos capital	Custos combustível	Custos manutenção	Total
VW Golf 1.0 TSI	58,74 €	5,94 €	1,67 €	66,35 €
VW Golf 1.6 TDI	41,92 €	3,81 €	0,89 €	46,62 €
Toyota Prius	86,63 €	4,08 €	1,89 €	92,60 €
Nissan Leaf 30 kWh	52,19 €	3,28 €	0,72 €	56,18 €

Reino-Unido				
Veículo	Custos capital	Custos combustível	Custos manutenção	Total
VW Golf 1.0 TSI	61,99 €	7,19 €	2,38 €	71,55 €
VW Golf 1.6 TDI	42,79 €	5,29 €	1,50 €	49,58 €
Toyota Prius	93,48 €	4,94 €	2,16 €	100,58 €
Nissan Leaf 30 kWh	62,06 €	2,93 €	0,94 €	65,92 €

Holanda				
Veículo	Custos capital	Custos combustível	Custos manutenção	Total
VW Golf 1.0 TSI	70,08 €	7,49 €	1,74 €	79,31 €
VW Golf 1.6 TDI	50,22 €	4,32 €	0,97 €	55,51 €
Toyota Prius	99,20 €	5,15 €	2,62 €	106,96 €
Nissan Leaf 30 kWh	58,64 €	2,43 €	0,64 €	61,72 €

Fonte: Elaboração própria