



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Vias para a Sustentabilidade Energética dos Transportes

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação

Autor

Cátia Raquel Nunes Morais

Orientador

João Manuel Coutinho Rodrigues

Nuno Miguel Marques Sousa

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Coimbra, Fevereiro, 2016

“O futuro dependerá daquilo que fazemos no presente”

Mahatna Gandhi

AGRADECIMENTOS

Com esta dissertação chega ao fim uma das etapas mais importantes e mais marcantes da minha vida, em todos os sentidos. Não poderia deixar de agradecer a todos que fizeram parte dela, por onde passei e deixei um pouco de mim.

Um enorme agradecimento ao Professor Doutor João Coutinho-Rodrigues, e ao Professor Doutor Nuno Sousa, pela inteira disponibilidade que sempre tiveram, pela paciência que tiveram para comigo, pela imensa colaboração que prestaram na realização desta dissertação, por todos os conhecimentos que adquiri com ambos, e por todo o exemplo de trabalho que me inculcaram.

Aos meus pais, por tudo o que têm feito por mim, por me ensinarem a ser quem sou, por estarem sempre presentes em todas as etapas da minha vida de forma tão intensa; pelo sacrifício que têm feito para realização de mais um sonho.

Ao meu irmão, pelo apoio incondicional que sempre me deu em tudo o que faz parte da minha vida, por estar longe mas sempre perto, por ser o meu orgulho e um exemplo a seguir.

Á minha cunhada, que passou a ser uma irmã, por estar sempre presente, pelo otimismo e alegria que me transmite.

E seria impossível não agradecer à minha pequena Sofia, pelos sorrisos e abraços que a cada dificuldade, me deram um novo alento.

E por fim, mas igualmente importantes, à minha “família de Coimbra”, que estiveram sempre presentes durante este percurso, pelas risadas, pelos choros, pelas angustias, pelas noites de Coimbra mas também pelas imensas horas de estudo que partilhámos. Pela motivação e força que sempre me deram e nunca me deixaram desistir de lutar por muito que a guerra parecesse perdida. Pelo que cresci e aprendi convosco, pelo sentido verdadeiro da palavra amizade, pelos amigos para a vida que ganhei e pela família que se construiu.

Muito Obrigado!

RESUMO

A bem conhecida dependência, quase exclusiva, dos transportes relativamente aos combustíveis de origem fóssil, finitos, altamente poluentes e cada vez mais dispendiosos (mas usados, de forma crescente, como fonte primária para energia no setor), é um dos problemas que tem hoje de ser encarado. Essa forte dependência tem implicações de natureza não só ambiental, mas também económica e social. O caminho da sustentabilidade no sector dos transportes constitui um desafio que envolve diversas vertentes tradicionais tais como o planeamento urbano e regional, a gestão da procura dos transportes, ou mudanças para a utilização de modos tradicionais de transporte energeticamente mais eficientes. Mas hoje constitui também um desafio o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias no sector, quer no âmbito dos veículos quer no dos combustíveis. Provavelmente só a conjugação de várias vertentes poderá apresentar soluções duradouras e eficazes para o problema: as intervenções ao nível do planeamento da cidade e dos transportes, mas também a utilização de biocombustíveis, o veículo elétrico e o veículo a hidrogénio são vertentes atualmente encaradas para ir ao encontro do problema e à descarbonização do sector. Há, contudo, prós e contras e múltiplas dificuldades a ultrapassar quer em cada uma das frentes possíveis, quer na conjugação de várias delas. A primeira parte do trabalho consiste na elaboração de um trabalho de síntese sobre o assunto, envolvendo um levantamento sobre o que tem vindo a ser investigado no âmbito das possibilidades e dificuldades de cada via, as implementações práticas, mesmo experimentais, de soluções tecnológicas já existentes (de entre essas implementações há já, no mercado, o automóvel elétrico em diversas configurações - híbrido, plug-in, etc. - e o veículo a hidrogénio, este ainda experimental). A segunda componente será constituída por uma avaliação multidimensional de alternativas já disponíveis, envolvendo estas tecnologias mais recentes.

ABSTRACT

The well-known, and almost exclusive, dependence of transport means on fossil fuels, which are finite, highly polluting and increasingly expensive, but nevertheless increasingly used as their primary source of energy, is one of the problems societies have to face today. This heavy dependence has implications not only of environmental nature, but also of economic and social nature. The path of sustainability in the transport sector is a challenge that involves various traditional aspects, such as urban and regional planning or management of transport demand, and new aspects, such as the shift to traditional modes of transport that are more energy efficient. The development and application of new technologies in the sector, both in terms of vehicles and their fuel, also constitutes one of today's challenges. It is likely that lasting and effective solutions to the problem will require a combination of various aspects: interventions at the level of city planning and transport, but also the use of biofuels, electric vehicles and hydrogen vehicles are currently seen as possible ways to face the problem and decarbonize the sector. There are however pros and cons to each aspect and many difficulties to be overcome in each of the possible fronts, and in combinations of several of them. The first part of this work will consist of a synthesis on the subject, involving a survey of what has been investigated on opportunities and difficulties of each front, its practical implementations, and existing technological solutions (out of these implementations some are already on the market, like the electric car in various configurations - hybrid, plug-in, etc. -, and others, like the hydrogen vehicle, are still experimental). The second part of this work will consist of a multidimensional evaluation of alternatives already available in the automobile market, involving these newer technologies and in comparison with conventional ones.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Estrutura do Trabalho	3
2. CRESCIMENTO DOS TRANSPORTES E SUAS CONSEQUÊNCIAS	4
2.1 Dependência do Petróleo.....	6
2.2 Emissões de Gases de Efeito de Estufa.....	11
2.3 Rumo à Sustentabilidade.....	15
3. ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS	21
3.1 Biocombustíveis	21
3.2 Veículos Elétricos	24
3.3 Gás de Petróleo Liquefeito	30
3.4 Hidrogénio.....	32
3.4.1 Hidrogénio como Combustível Automóvel	32
3.4.2 Modos de Distribuição de Hidrogénio	34
3.4.3 Armazenamento de Hidrogénio.....	35
3.4.4 Infraestruturas de Abastecimento e Distribuição de Hidrogénio	36
3.4.5 Políticas e Estratégias de Apoio à Implementação de Hidrogénio nos Transportes	36
3.4.6 Riscos Associados ao Hidrogénio	36
3.5 Estudos Comparativos.....	37
3.6 O Futuro dos Combustíveis.....	42
4. SUSTENTABILIDADE AUTOMÓVEL – METODOLOGIA DE ESTUDO	46
5. ESTUDO COMPARATIVO DA TECNOLOGIA DE PROPULSÃO DISPONÍVEL NO MERCADO PORTUGUÊS	53
5.1 Recolha de Dados	53
5.2 Análise Multicritério – Fase 1	53
5.3 Análise Multicritério – Fase 2.....	55
5.4 Análise Estatística.....	58
6. DISCUSSÃO DE RESULTADOS	61
7. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	63
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
ANEXO A	A-1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1- Volume de passageiros por modo de transporte (bilhões/km) – UE-27	5
Figura 2.2 – Volume de transporte de carga por modo de transporte (bilhões/km) – UE-27	6
Figura 2.3 – Consumo mundial de petróleo por setores (%).....	7
Figura 2.4- Total de Reservas de Petróleo no ano 2014	8
Figura 2.5– Consumo de Petróleo no ano 2014 (mil barris/dia)	8
Figura 2.6– Dependência do uso do petróleo no setor dos transportes.....	10
Figura 2.7- Emissões de GEE por setor na UE (%).....	12
Figura 2.8 – Emissões de GEE por modo de transporte na UE (%).....	12
Figura 2.9 – Emissões dos principais GEE: transportes e outros setores (%).....	13
Figura 2.10 - Redução dos principais GEE entre 1990 – 2009 (%).....	14
Figura 2.11– Implementação de recomendações de redução de GEE (%)	17
Figura 2.12– Comparação de ocupação do solo	19
Figura 3.1 – Produção global de biocombustíveis	22
Figura 3.2– Etapas de processamento de bio etanol de segunda geração	23
Figura 3.3- Etapas de processamento de bio etanol de primeira geração	23
Figura 3.4 – <i>Stock</i> de veículos elétricos	25
Figura 3.5 – Ambições de governo e fabricantes de veículos elétricos	26
Figura 3.6- Mercado de veículos elétricos híbridos (VEH)	27
Figura 3.7 – Posto de carregamento de veículos elétricos público	29
Figura 3.8 – Estimativa de redução do custo de baterias para 2020	30
Figura 3.9 – Modelo Toyota Mirai	33
Figura 3.10 – Modelo Honda FCV Concept	33
Figura 3.11– Comparação de consumos energéticos durante o ciclo de vida	39
Figura 3.12– Comparação de CO ₂ equivalente durante o ciclo de vida	40
Figura 3.13– Comparação entre custos globais aproximados (US \$).....	41
Figura 3.14– Cenário previsível para o setor dos transportes no ano 2050	42
Figura 3.15– Redução das emissões de GEE esperadas para o ano 2050.....	43
Figura 3.16 – Consumo de energia por setor em 2012 (%).....	43
Figura 3.17– Cenário da revolução energética 2050 (%).....	44
Figura 5.1– <i>Output</i> do <i>software web</i> Matrix do ranking calculado através do método TOPSIS	56
Figura 5.2 – <i>Boxplots</i> referentes aos casos de estudo	59

Figura A.1 - Representação esquemática do aumento da variedade dos fabricantes e modelos de veículos elétricos híbridos entre 2001 e 2014 e evolução das vendas..... A-1

Figura A.2 - Visão global da evolução recente dos VE e VEHP, infraestruturas e investimentos A-2

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 4.1– Correspondências de cada caso de estudo.....	47
Quadro 4.2 – Valores de IR.....	50
Quadro 5.1– Resumo dos valores das características dos veículos (correspondente a uso geral)	53
Quadro 5.2– Matriz de preferências para o Caso 1 (Uso Geral/4 Critérios).....	54
Quadro 5.3– Matriz de preferências para o Caso 2 (Uso Geral/6 Critérios).....	54
Quadro 5.4– Matriz de preferências para o Caso 3 (Uso Específico/4 Critérios).....	54
Quadro 5.5– Matriz de preferências para o Caso 4 (Uso Específico/6 Critérios).....	54
Quadro 5.6– Pesos correspondentes a cada critério.....	55
Quadro 5.7– Matriz de decisão para os Casos 1 e 2.....	56
Quadro 5.8 - Matriz de decisão para os Casos 3 e 4.....	57
Quadro 5.9- Total de ranking obtidos através da aplicação do método TOPSIS.....	58
Quadro 6.1 – Pesos referentes ao juízo 2.....	61

ABREVIATURAS

AEA	Agência Europeia do Ambiente
AIE	Agência Internacional de Energia
ANOVA	Análise de Variância
Apetro	Associação Portuguesa de Empresas Petrolíferas
CE	Comissão Europeia
CO ₂	Dióxido de Carbono
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
DE	Departamento de Energia
EDP	Energia de Portugal
EUA	Estados Unidos da América
Eurostat	Gabinete de Estatística da União Europeia
GEE	Gases Efeito de Estufa
Gt	Giga toneladas
kWh	Kilowatt-hora
Mpa	Mega pascal
NO	Óxido de Azoto
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
ONU	Organização das Nações Unidas
OPEP	Organização de Países Exportadores de Petróleo
PM	Partículas Médias
SO	Óxido de Enxofre
UE	União Europeia
V	Volts
VC	Veículo Convencional
VE	Veículo Elétrico
VEB	Veículo Elétrico a Bateria
VEH	Veículo Elétrico Híbrido
VEHP	Veículo Elétrico Híbrido Plug-in

1. INTRODUÇÃO

O transporte tem sido ao longo das últimas décadas uma ferramenta importante a vários níveis, tornando-se um meio para o desenvolvimento a nível mundial. Mas tal como o transporte tem vindo a sofrer um crescimento substancial, também conseqüentemente tem vindo a crescer impactos negativos em redor deste, por exemplo o congestionamento principalmente nas grandes cidades, o ruído e poluição do ar urbano, o número de acidentes e suas conseqüências, como também tem crescido a emissão de gases de efeito de estufa (GEE) que provocam o potencial do aquecimento global (Banister, 2005).

Segundo dados da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), entre o ano de 1984 e 1994 houve um crescimento de 31% referente ao número de veículos ligeiros na União Europeia (UE)– 5, e torna-se espectável que até 2020 este crescimento supere os 50%. Um dos grandes inconvenientes deste aumento, que tem sido acompanhado por um aumento também do número total de quilómetros (km) percorridos por esses veículos, é a sustentabilidade, tanto no que respeita aos combustíveis mais usados (de origem fóssil), como da própria capacidade da rede viária que não acompanha aquele crescimento de veículos, o que causa impactos sociais no consumidor.

Este crescimento de veículos deve-se também ao crescimento da população principalmente nas áreas urbanas. Na UE estima-se que seis milhões de indivíduos vivam nas grandes cidades, onde a taxa de crescimento anual é de 60 milhões por ano, o equivalente a um aumento de 61% nas zonas urbanas no ano de 2025. Para além deste crescimento urbano, e expansão das cidades, provocou com que muitas pessoas se instalassem nas respetivas zonas periféricas da cidade, que aumenta a dependência do veículo ligeiro para as deslocações diárias, os congestionamentos, e o número de km percorridos por viagem.

Nas últimas décadas as entidades responsáveis, têm vindo a mostrar preocupação no que diz respeito aos impactes ambientais que estas mudanças no setor do transporte têm trazido no clima e na saúde humana. Por isso Banister (2005) enuncia sete questões que necessitam de resolução para que haja um desenvolvimento sustentável nos transportes:

- O congestionamento, que se torna maior quanto maior for a cidade;
- O aumento da poluição atmosférica;
- O ruído do tráfego automóvel;

- A segurança rodoviária;
- A construção de nova rede viária, que causa impacto na paisagem urbana;
- O domínio da área urbana pelo veículo ligeiro;
- O aquecimento global provocado pelo transporte.

Para além dos pontos acima descritos, é necessário ter em conta outros fatores que impedem a sustentabilidade no setor dos transportes, enunciados por Banister (2005):

- A migração das pessoas para a periferia das cidades que levou um aumento substancial no uso do veículo ligeiro;
- A descentralização que ocorreu nas cidades;
- Deslocalização da indústria.

Para colmatar estes dez pontos enunciados acima e caminhar no sentido da sustentabilidade resolvendo problemas de congestionamento, ruído, segurança em geral, poluição do ar e redução do aquecimento global é necessário que se cumpram certos objetivos como a redução do uso de veículos em áreas urbanas, redução da necessidade de efetuar viagens (ou seja dos km percorridos), reduzir as emissões produzidas pelo veículo, promover outros modos de transporte e melhorar a segurança dos utentes.

Só no setor dos transportes é necessário que haja uma redução de 60% nas emissões de GEE até ao ano de 2050, sendo que os países desenvolvidos têm que sofrer os maiores cortes, e os países em desenvolvimento podem sofrer aumento de GEE a curto prazo. Novas tecnologias e motores mais eficientes podem ajudar na redução dos GEE emitidos pelos veículos, mas estima-se que em 2020 os combustíveis fósseis ainda estejam em utilização mesmo com as alternativas que têm vindo a surgir, como veículos elétricos e (mais recentemente) veículos movidos a hidrogénio ou outras fontes de energias renováveis com níveis de carbono bastantes reduzidos. Medidas e acordos propostos têm que ser cumpridos para se conseguir chegar à sustentabilidade do setor dos transportes, mas não se pode atingir as metas propostas utilizando apenas tecnologias nos veículos, sendo necessário que se façam mudanças a nível urbano e comportamental (Banister, 2005).

1.1 Objetivos

Esta dissertação enquadra-se na necessidade do uso de alternativas aos combustíveis fósseis que começam a surgir ainda que em ritmo ponderado devido à suscetibilidade do ponto de vista do consumidor. O objetivo do trabalho prende-se (i) com o estudo das alternativas de combustíveis para o setor dos transportes que se vislumbram atualmente, e (ii) analisar o que podem ser as escolhas por parte do consumidor atendendo a padrões de preferência e tipos de uso, tendo em conta as tecnologias alternativas para propulsão do veículo quer as existentes

quer as que venham a ser adotadas no futuro (incluindo a utilização do hidrogénio). São também tidas em conta as características quer dos veículos mais convencionais (que nesta dissertação dizem respeito aos veículos movidos a gasolina/gasóleo), quer a de veículos movidos a gás de petróleo liquefeito e a eletricidade. Resumindo, numa primeira parte irá realizar-se uma síntese sobre as mais recentes evoluções neste tema, as preocupações existentes relativamente aos combustíveis fósseis e também sobre as alternativas aos veículos de combustão interna, sendo que algumas (ainda não utilizáveis na prática em grande escala) não irão ser base de estudo, apenas de anotação teórica; numa segunda parte, através de uma análise multicritério dos veículos existentes baseado nas diferentes tecnologias em estudo, poder-se-á tirar conclusões sobre a tecnologia de propulsão do veículo que melhor se adequa ao consumidor a curto prazo para duas funcionalidades distintas: veículo citadino (uso específico) destinado apenas para viagens urbanas, ou veículo familiar destinado a viagens urbanas e interurbanas (uso geral).

1.2 Estrutura do Trabalho

A dissertação está organizada em sete capítulos, iniciando-se com a introdução, onde é descrito a importância do tema, bem como os objetivos pretendidos.

No segundo capítulo, é descrito o crescimento que o setor dos transportes tem vindo a sofrer, bem como as suas consequências a nível ambiental. É descrito também neste capítulo a necessidade da procura da sustentabilidade no setor dos transportes bem como medidas que segundo alguns autores ajudariam a alcançar esse fim.

No terceiro capítulo estão apresentadas as alternativas sustentáveis existentes como tecnologia de propulsão de veículos e as suas principais características, sendo que são descritos também alguns estudos efetuados por diversos autores sobre estes. Ainda neste capítulo é referido o que se pretende para o futuro no que toca aos combustíveis.

No capítulo quatro é descrito a metodologia utilizada para se alcançar um dos objetivos propostos nesta dissertação, assim como os métodos necessários e utilizados na aplicação prática da comparação efetuada.

O quinto capítulo serve para a apresentação dos casos de estudo aqui envolvidos, sendo apresentados os principais passos deste estudo efetuados, que levarão aos resultados.

No sexto capítulo, são expostos os resultados obtidos neste estudo, bem como a sua discussão.

Por fim, no sétimo capítulo são apresentadas as conclusões gerais da dissertação e sugestão de possíveis trabalhos futuros relacionados com este tema.

2. CRESCIMENTO DOS TRANSPORTES E SUAS CONSEQUÊNCIAS

A dependência do uso dos transportes tem aumentado fortemente a cada década, a par do crescimento económico a nível mundial, e cooperação entre países. Não só é constatado um aumento do número de veículos de passageiros como também de mercadorias. Steg *et al.* (2005) estimam que entre a década de 70 e 90 do século XX o número de passageiros por quilómetro aumentou 90% na Europa Ocidental, e 13% nos Estados Unidos da América (EUA).

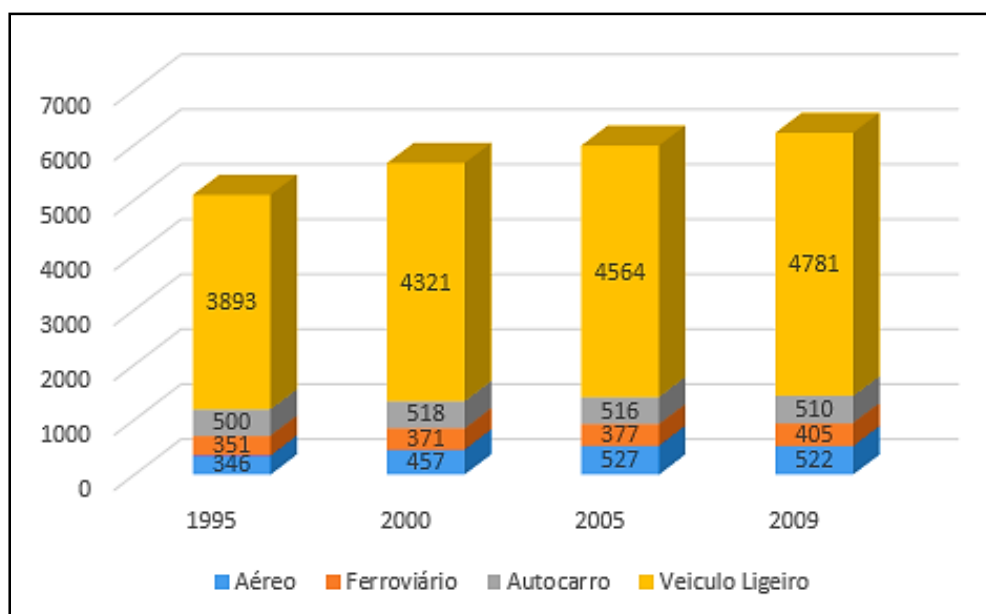
Vicente (2011) estima que o maior crescimento se deu entre os anos de 1995 e 2009, com um aumento de 51 % no transporte aéreo, e 23% em veículos de passageiros terrestres; destes o modo de transporte mais utilizado é o veículo ligeiro com uma procura de 83%, seguido do autocarro com 8% e do transporte ferroviário com 7%.

Já segundo Steg *et al.* (2005), o maior crescimento no setor dos transportes deu-se entre 1970 e 1990, dos 675 milhões de veículos motorizados existentes nesta última data, 80% dedicavam-se apenas ao transporte de passageiros. Estudos mais recentes efetuados por Vicente (2011), mostram um crescimento de todos os modos de transporte na UE; a liberalização do tráfego aéreo, o melhoramento e aumento das linhas ferroviárias e rede viárias proporcionaram este crescimento; os dados referentes ao transporte de passageiros revelam que o veículo ligeiro é responsável por 77% do transporte nos países da UE, sendo que a procura deste modo de transporte aumentou na década de 1999 a 2009 cerca de 14%; de referir a mesma percentagem de aumento relativamente à procura de transporte de passageiros através da linha ferroviária. O transporte aéreo também tem vindo a sofrer aumentos na procura para viagens superiores a 500 km, tendo-se nessas distâncias revelado o meio de transporte preferencial para passageiros, com um aumento de 55% durante a mesma década.

O relatório da Agência Europeia do Ambiente (AEA) (EEA Report, 2010) também indica o crescimento de transporte de passageiros através de via aérea de 6 para 9% no período 1990-2007, salientando a conseqüente diminuição de viagens de autocarro de passageiros de 9% para 8%. Este relatório enfatiza também o uso do veículo ligeiro como sendo o principal meio de transporte de passageiros na UE-27, atingindo a utilização em 72% das viagens realizadas no ano de 2007.

É de referir que muitos países desenvolvidos iniciam a mudança de mentalidade em relação ao setor dos transportes. Apesar de o automóvel ligeiro continuar a ser o meio preferencial de deslocamentos de passageiros, o autocarro também se mostra bastante competitivo na UE, exceto em países como a Áustria, França, Alemanha, Holanda, Suécia, Suíça e Reino Unido onde o transporte de passageiros em modo ferroviário consegue superar a procura em relação ao autocarro.

Tal como já referido houve um crescimento de transporte de passageiros em todos os modos de transporte; através da figura 2.1 é visível o crescimento ao longo de mais de uma década, tal como Vicente (2011) refere no que toca às viagens no seio da UE-27; nitidamente o veículo ligeiro consegue sobressair em volume de transporte de passageiros em relação aos restantes modos.

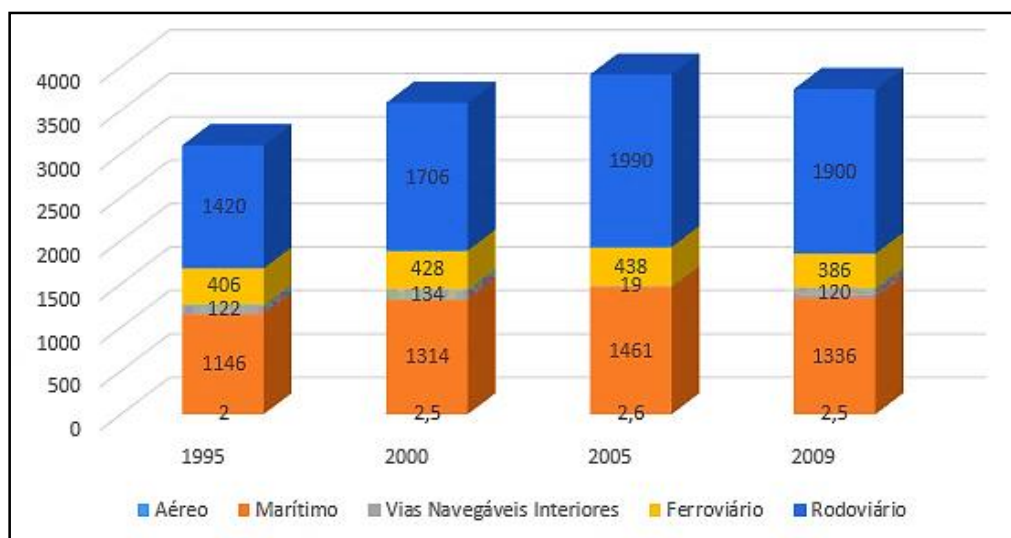


Fonte de dados: Vicente (2011)

Figura 2.1- Volume de passageiros por modo de transporte (bilhões/km) – UE-27

No que toca ao transporte de mercadorias, Vicente (2011) refere que a procura do transporte rodoviário e ferroviário nos países da UE atingiu o seu pico em 2007, tendo-se verificado um crescimento desde 1997 em quase 33%; esta procura veio a sofrer um decréscimo de 12% provocado pela recessão económica que se seguiu, sendo que a situação mostrou ligeiras melhorias após 2009 com um aumento de 4%. No entanto, dados referentes a 2009 refletem o uso preferencial de transporte de mercadorias através do modo rodoviário com 79% de movimentações de carga. Também um relatório da AEA (EEA Report, 2010), refere o crescimento do transporte de mercadorias entre 1997 e 2007, salientado um aumento por via aérea de 35% e de 31% por via marítima no mesmo período.

Relativamente ao volume de transporte de mercadorias, é visível através da figura 2.2, o seu crescimento tal como já foi referido, e o seu decréscimo no ano 2009 devido à recessão económica. Também no transporte de mercadorias é visível a preferência do uso de acessos rodoviários para este tipo de transporte, sendo visível e de salientar o ainda escasso uso da via aérea no que toca a mercadorias, ficando sempre abaixo dos 3 bilhões de km na UE-27 (Vicente, 2011).



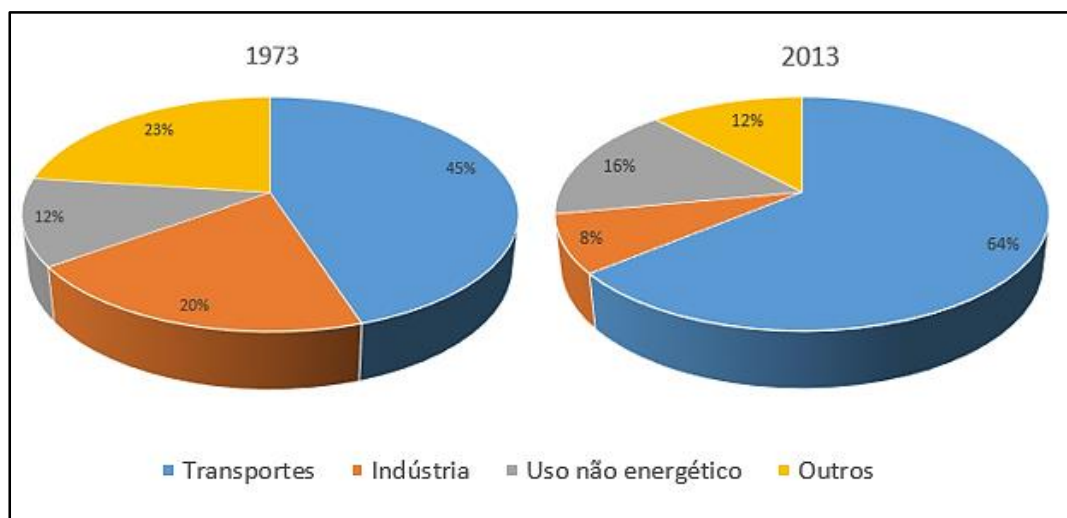
Fonte de dados: Vicente (2011)

Figura 2.2 – Volume de transporte de carga por modo de transporte (bilhões/km) – UE-27

Numa tendência de adoção de transportes mais sustentáveis, Vicente (2011) estima que 30% do transporte rodoviário de mercadorias seja transferido para outros modos de transporte em 2030 e mais de 50% em 2050, sendo o modo ferroviário e o marítimo os preferenciais para essa transferência.

2.1 Dependência do Petróleo

O petróleo é um constituinte dos combustíveis fósseis, que incluem também o carvão mineral e o gás natural. Os combustíveis fósseis são uma fonte de energia primária, sendo esta considerada não renovável pois as suas reservas correm o perigo de se esgotarem, dado que o seu processo de formação é muito lento comparativamente ao respetivo ritmo de consumo. O petróleo tem uma importância muito importante no mundo atual pois através dele é possível obtermos outras fontes de energia secundárias. Na figura 2.3 são apresentados os diversos usos do petróleo, mostrando também o aumento que este uso sofreu entre 1973 e 2013 principalmente no setor dos transportes.

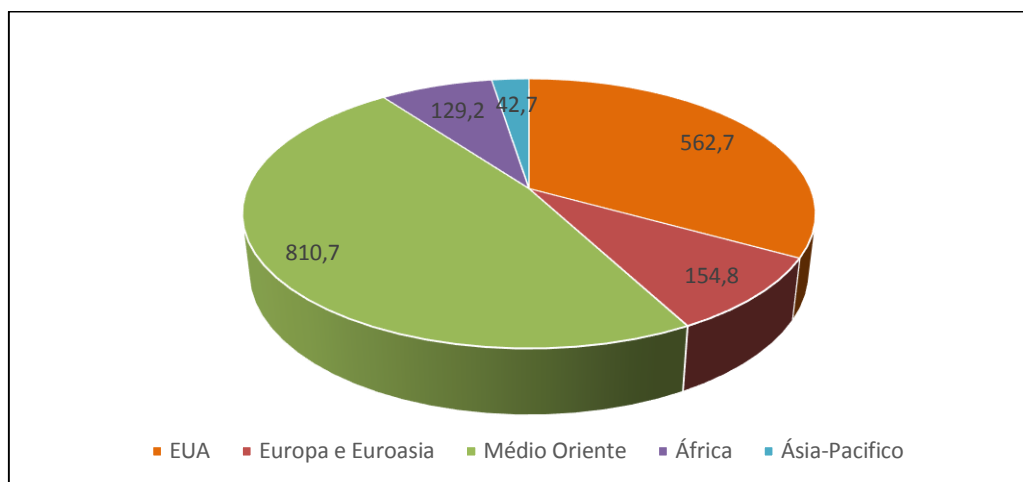


Fonte de dados: IEA, 2015

Figura 2.3 – Consumo mundial de petróleo por setores (%)

Tal como é visível na figura apresentada, o setor com maior consumo é o dos transportes, principalmente para a produção de gásóleo, gasolina e querosene, mas também para outras utilizações como asfalto para pavimentação, indústria, agricultura, serviços públicos e residenciais.

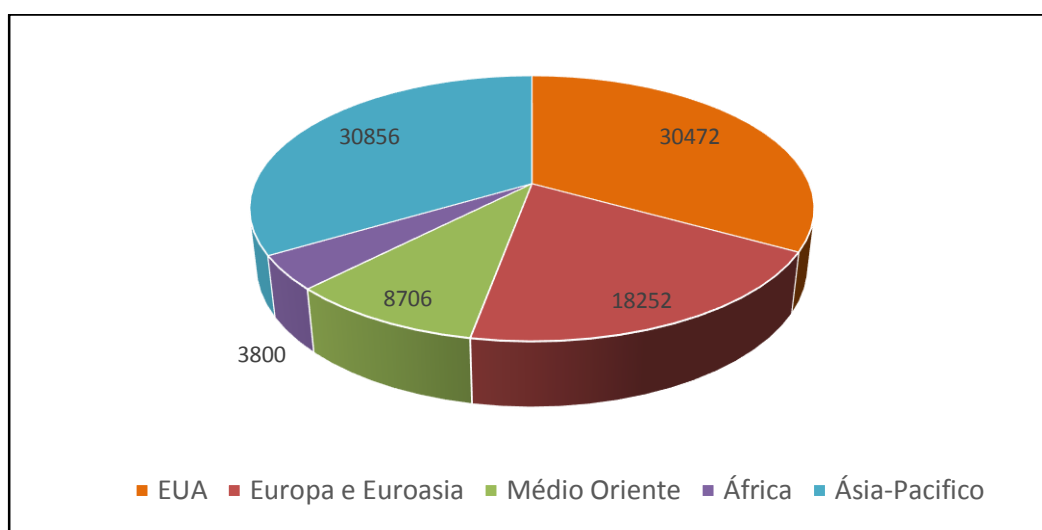
Como as reservas petrolíferas existem dispersas por todo o mundo, foi criado em 1960 a Organização de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), cujo principal objetivo era estabelecer políticas de interesse para os seus membros, o controle de preços de venda de petróleo no mercado mundial, e a definição de estratégias de produção. Os países que fazem parte desta organização são todos possuidores de reservas de petróleo, sendo maioritariamente do médio oriente: Catar, Kuwait, Iraque, Irão, Arábia Saudita, e Emirados Árabes Unidos; do continente Africano são: Angola, Argélia, Líbia e a Nigéria; e da América do Sul: Equador e Venezuela. Atualmente 75% das reservas mundiais pertencem aos países da OPEP. Na figura 2.4, estão apresentadas as principais reservas mundiais de petróleo conhecidas em 2014.



Fonte de dados: Apetro@2015a

Figura 2.4- Total de Reservas de Petróleo no ano 2014 (mil milhões de barris, 1 barril≈159litros)

Apesar de as maiores reservas se encontrarem no médio oriente, não significa que seja aqui que exista o maior consumo de petróleo, muito em consequência de guerras políticas criadas em torno do petróleo, da sua exploração e sua produção, que mantêm alguns destes países no terceiro mundo. Atualmente, os países com maior consumo destas reservas são os EUA e a zona da Ásia Pacífico (que engloba China, Austrália, Índia, Japão, Nova Zelândia, Tailândia, Coreia entre outros). Através da figura 2.5 é possível verificar o consumo de petróleo nas diversas zonas a nível mundial registado no fim de 2014.



Fonte de dados: Apetro@2015b

Figura 2.5– Consumo de Petróleo no ano 2014 (mil barris/dia)

Em penúltimo lugar de consumo, o médio oriente, é a zona com maior exportação de petróleo, seguindo-se a Rússia. Já a nível de importação, os EUA tomam o primeiro lugar deste ranking pois, dado o seu excessivo consumo, não conseguem fazer face a ele com a produção do país; em segundo lugar de importação fica a República Democrática da China. De salientar que estes dois países com maior importação de petróleo são considerados as duas maiores potências económicas a nível mundial.

Devido à polivalência do uso do petróleo, todos os países se encontram parcialmente dependentes deste nos diversos sectores económicos. Esta dependência faz com que os países enfrentem algumas dificuldades quando as fontes de petróleo se esgotarem. Sendo o setor dos transportes um dos principais no que toca ao desenvolvimento de qualquer país, é necessário o recurso constante aos combustíveis fósseis. Através de estudos já efetuados nos EUA, segundo IEEEE-USA (2012), cerca de 96% da energia despendida para o setor dos transportes é oriunda do petróleo, representando cerca de 40% no défice comercial. Já Kojima *et al.* (2010) estimam que até ao ano de 2030 a utilização de energia a nível global no setor dos transportes aumente em cerca de 1.6% anuais, atingindo assim cerca de 97% do aumento do consumo de petróleo entre 2007 e 2030.

Sem dúvida que o setor dos transportes é o que mais depende do consumo de energia proveniente do petróleo. Kojima *et al.* (2010) referem que este setor representava 27% do consumo mundial no ano de 2007, por isso mesmo se não forem tomadas medidas políticas significativas no que toca a esta dependência, em 2050 prevê-se uma procura de 80% desta fonte de energia apenas para o transporte rodoviário e os restantes 20% para outros modos de transporte; a título de apontamento, em Portugal o consumo de energia total efetuada através do setor dos transportes, era de 35.88% no ano de 2013 (Direção Geral de Energia e Geologia, 2015).

Através da figura 2.6, é visível a dependência do uso do petróleo no setor dos transporte, onde é notório o decréscimo por volta do ano de 2009 do seu uso devido à recessão económica, tal como já foi referido atrás, bem como devido às alternativas a esta fonte de energia que começam a ter mais ênfase neste século.

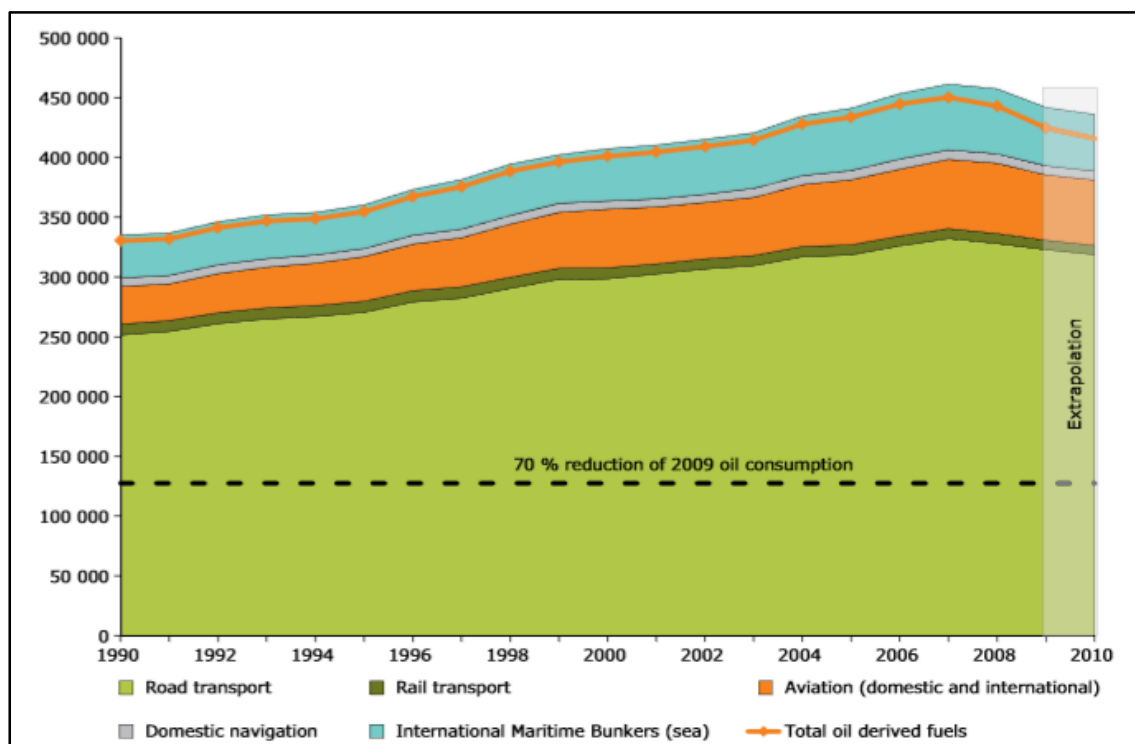


Figura 2.6– Dependência do uso do petróleo no setor dos transportes (Vicente, 2011)

Para além dos encargos económicos que o uso do petróleo acarreta para os diversos países, também traz problemas graves no que toca à poluição mundial, principalmente nas emissões de GEE através da emissão de CO₂, sendo que neste caso, devido aos seus componentes, é a gasolina (derivado do petróleo) que apresenta maior taxa de poluição na sua combustão. É importante que haja um desenvolvimento para que a substituição do petróleo por combustíveis mais vantajosos quer ao nível económico, quer ao nível ambiental seja possível; passando assim o futuro pela utilização de energias renováveis e limpas para que, com o possível término do petróleo, possam existir alternativas viáveis.

Devido aos problemas atrás enunciados, existe a necessidade urgente de encontrar combustíveis alternativos aos combustíveis fósseis, devido ao rápido crescimento da procura. Segundo a Agência Internacional de Energia (AIE), esta procura terá tendência de triplicar até ao ano de 2050. Apesar de existirem diversos problemas relativamente à implementação de combustíveis alternativos, sendo que um deles segundo Ogden *et al.* (2011a), é relacionado com o tempo de vida útil dos veículos, no mínimo 15 anos, o que implica que esta mudança iria dar-se a longo prazo e nunca a curto prazo como seria pretendido. Através de Ogden *et al.* (2011a), verifica-se que é necessário que haja uma mudança englobando um conjunto de três abordagens que trariam melhorias, quer ambientais quer económicas, ao nível da utilização dos transportes, sendo elas: a melhora da eficiência dos transportes, a utilização de combustíveis verdes, e o

incentivo à utilização de outros modos de transporte; desta forma poderia ser possível a sustentabilidade no setor dos transportes. Finalmente, o planeamento das cidades é outro aspeto que poderá influenciar este setor.

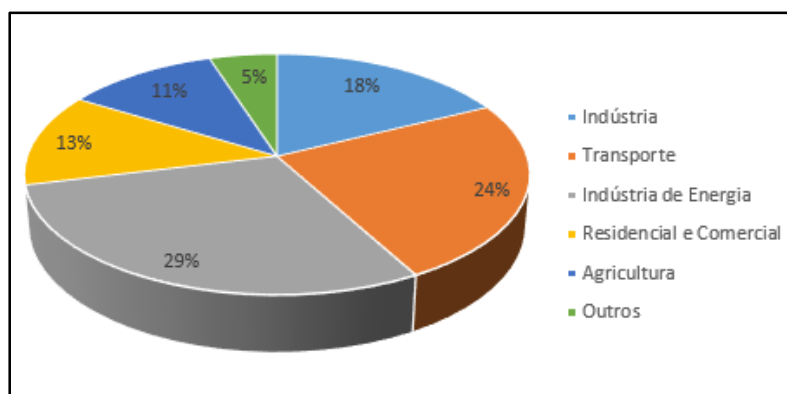
2.2 Emissões de Gases de Efeito de Estufa

É necessário clarificar o conceito de GEE, bem como os prejuízos que causam as suas emissões. Efeito de estufa entende-se por um processo natural da Terra, que possibilita uma temperatura média de cerca de 15°C, sendo esta a ideal para que todas as espécies naturais consigam o seu equilíbrio. Sem este efeito de estufa, estima-se que a temperatura média seria cerca de 33°C mais baixa, o que impossibilitaria a vida na Terra. O que os chamados “gases de efeito de estufa” provocam é a absorção da radiação infravermelha proveniente da superfície terrestre, fazendo com que esta não seja irradiada para o espaço; esta absorção provoca o aquecimento global da superfície terrestre podendo causar catástrofes naturais num futuro bem próximo.

A atmosfera é composta em 99% por oxigénio (O₂) e por azoto (N₂), o restante 1% é composto por diversos gases em pequenas concentrações, alguns deles também os chamados gases efeito de estufa. Os principais gases preocupantes nesta matéria são o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), clorofluorcarbonetos (CFCs), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonetos (HFCs), perfluorcarbonetos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF₆); são estes os gases que devem ser reduzidos segundo o Protocolo de Quioto. Este protocolo internacional foi assinado em 1997 por 175 países, tendo sido ratificado em 2004 pela Rússia, entrando assim em vigor em 2005. Visa dois objetivos: a redução dos GEE, e a introdução de “*políticas e medidas de mitigação das emissões de GEE*”. Segundo este protocolo é necessário que sejam tomadas algumas medidas entre os países aderentes salientando as reformas nos setores da energia e dos transportes, e a promoção do uso de energias renováveis. A aplicação deste protocolo torna-se indispensável a nível mundial, apesar de ainda existirem países descrentes, como os EUA que não o ratificaram, dado acreditarem poder causar inviabilização do crescimento no setor industrial.

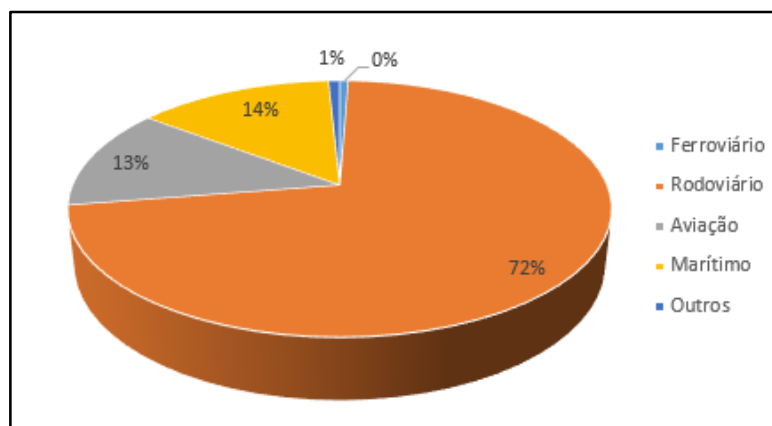
Com o crescimento no setor dos transportes a nível mundial, este torna-se uma das maiores potenciais fontes de emissões de GEE. Segundo o relatório da AEA (EEA Report, 2010), 19.3% dessas emissões são provenientes dos transportes, sendo que durante o período de 1990 a 2007 sofreram um aumento de 28%, ao invés da redução de 5% ocorrida por parte dos restantes setores. Este aumento deve-se em muito ao crescimento das zonas periféricas das cidades o que tem levado a um conseqüente aumento de viagens em número e extensão. Dados referentes a 2008 revelaram um decréscimo de 2% referente às emissões no setor dos transportes em relação a 2007, devido à crise financeira que se instalou. Apesar deste pequeno decréscimo, os níveis continuam bastante elevados, e tona-se inoportável continuar sem que nada seja feito pelos países para reverter o processo.

Yang *et al.* (2011) referem com base num painel governamental sobre mudanças climáticas, a necessidade de redução dos GEE em 50 a 80% a nível global. O mesmo autor, indica que os EUA são responsáveis por 29% da emissão deste tipo de gases através dos transportes, e em todo o planeta este setor é responsável por 23%. Na UE a contribuição total dos transportes era de 24.3% em 2012, dos quais 71.9% do modo rodoviário tal como é representado na figura 2.7 e 2.8. Estes valores mostram ser notória a urgência da rápida mudança para evitar alterações climáticas causadoras de catástrofes atmosféricas.



Fonte de dados: http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/index_en.htm

Figura 2.7- Emissões de GEE por setor na UE (%)



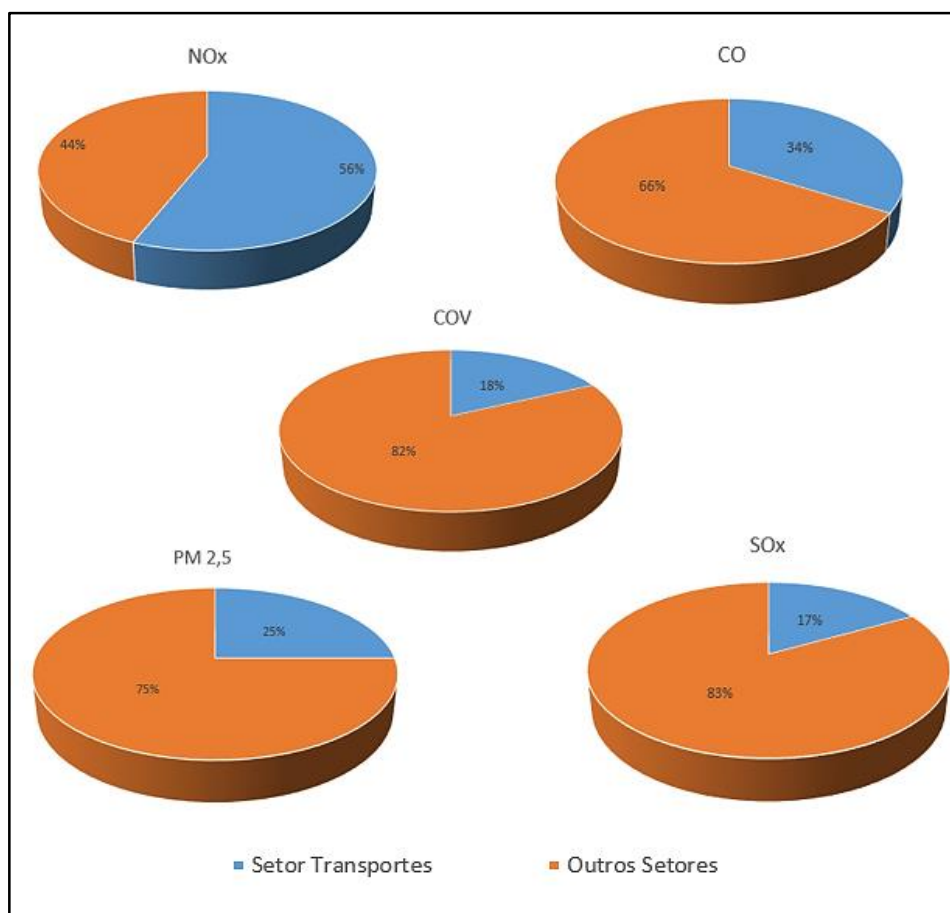
Fonte de dados: http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/index_en.htm

Figura 2.8 – Emissões de GEE por modo de transporte na UE (%)

Yang *et al.* (2011) indicam as percentagens de emissões de GEE de cada modo de transporte nos EUA, tendo chegado às seguintes conclusões: 60% provieram de automóveis ligeiros e

pesados, 17% de autocarros e veículos longos, 11% de aviação, os restantes 12% de transporte ferroviário, marítimo e veículos agrícolas.

Desde 1990 foram feitos progressos significativos na redução de GEE provenientes dos transportes, mas, apesar destes progressos, muitas cidades europeias têm vivido grandes dificuldades em obter os limites de emissões desejáveis (Vicente, 2011). Através da figura 2.9 é visível, no ano 2009, a elevada contribuição do setor dos transportes no que toca às emissões dos principais GEE comparativamente ao global dos outros setores nos países que integram a agência europeia do ambiente.



Fonte de dados: Vicente, 2011

Figura 2.9 – Emissões dos principais GEE: transportes e outros setores (%)

Os veículos pesados são os principais contribuintes pela emissão de NOx, enquanto os veículos ligeiros são a principal fonte no que toca à emissão de CO, NOx, PM 2.5 e COV. Apesar de terem valores ainda significativos, tem sido visível a progressão de redução no que toca a estas emissões desde o ano de 1990, tal como é visível na figura 2.10.

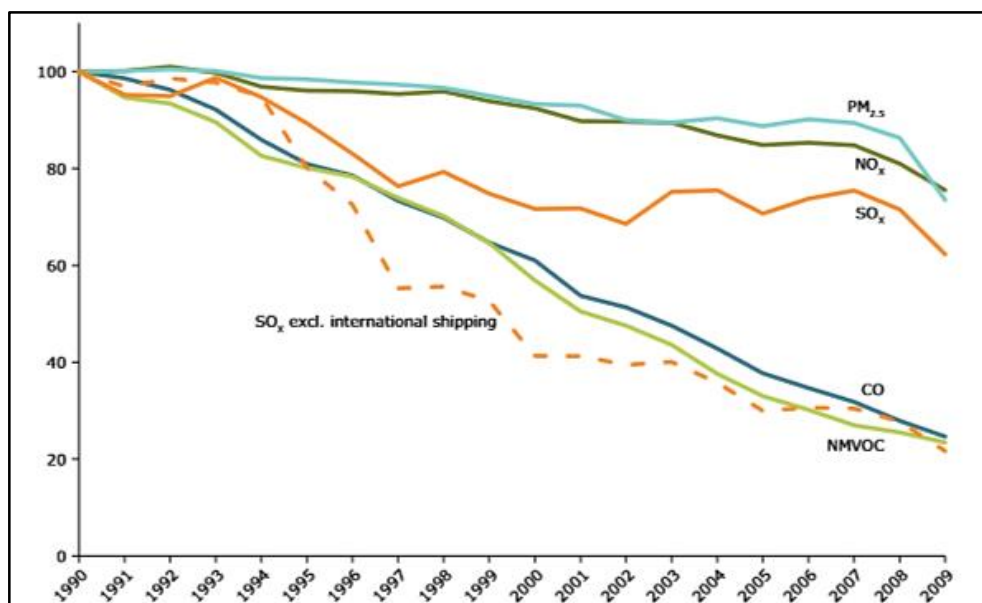


Figura 2.10 - Redução dos principais GEE entre 1990 – 2009 (%) (Vicente, 2011)

Havendo assim uma diminuição em 25% de NO_x, de 27% de PM 2.5, 37% no que diz respeito ao SO_x, 75% relativamente ao CO e 77% aos COV.

No relatório da AEA (EEA Report, 2010) são referidas algumas propostas de maneira a que este nível de emissões seja reduzido indicando uma diminuição em 80% nos valores de referência de 1990 até 2050, e uma redução de 95% nas emissões dos países desenvolvidos até à mesma data. Já Vicente (2011) propõe uma redução de 60% nos níveis de 1990 até 2050, com uma redução de 20% desde 2008 até 2030.

A redução das emissões de GEE nos transportes pode levar a melhorias relativamente a outros setores e outras áreas, como os níveis de ruído, a qualidade do ar, o aumento da segurança energética e a redução do impacto na biodiversidade. Alternativas a médio e longo prazo podem trazer benefícios neste sentido já a partir do ano 2030, com o aumento da adoção de novas tecnologias nos veículos, e normas impostas à qualidade do ar pelos diversos países.

Com o intuito de redução das emissões de CO₂ provenientes dos transportes, Dalkmann *et al.* (2007) combinam três abordagens distintas – evitar, mudar e melhorar com cinco instrumentos políticos necessários para a implementação de medidas que visam este objetivo. Os cinco instrumentos políticos são: tecnológicos, de informação, reguladores, económicos e de planeamento. No que se refere ao instrumento político de planeamento, este incide sobre as infraestruturas, planeamento do território e planeamento de viagens; já os instrumentos de políticas reguladoras colocam a responsabilidade na administração pública na definição de normas para as emissões e eficiência de combustível, bem como a implementação de

instrumentos regulatórios na procura de viagens; o instrumento político-económico leva a cabo a implementação de taxas e impostos que incentivem a utilização de veículos energeticamente mais eficientes; relativamente ao instrumento de informação, tem o objetivo de desenvolver ações de consciencialização pública de modo a que se incentive o uso de meios alternativos nas viagens; por fim, o instrumento tecnológico visa a implementação de novas tecnologias verdes nos veículos, seja através do combustível, seja pela tecnologia de propulsão do veículo.

Muitos esforços têm sido levados para uma redução de GEE, quer seja por acordãos entre países, regulamentos de monitorização de emissões de CO₂, ou por aplicação de novas tecnologias. A primeira tentativa da UE para estabelecer metas na emissão de GEE foi em 1999 na sua recomendação 1999/125/CE reconhecida pela Comissão Europeia (CE), onde a indústria automóvel, de forma voluntária, definiu a meta de 140g/km em 2008/2009. Apesar de se terem sentido ligeiras reduções, a indústria não conseguiu cumprir tal meta. Tal como já foi referido anteriormente, em 2009 o parlamento europeu e o conselho europeu emitiu o regulamento nº 443/2009 com limites obrigatórios de emissão de CO₂ nos veículos ligeiros de passageiros a fim de que, em 2015, se chegasse à meta de 130g/km em todos os veículos novos matriculados na UE, acrescido de menos 10g/km devido a medidas adicionais; este regulamento define também uma meta a longo prazo nas emissões a serem alcançadas em 2020 de 95g/km.

Em 2015 ocorreu a conferência da ONU sobre as alterações climáticas, onde 149 países propuseram a redução de GEE entre 2025 e 2030; a China responsável por 25% das emissões comprometeu-se a fixar um limite máximo em 2030; também os EUA, segundo maior poluidor mundial, têm ambição de reduzir cerca de 27% até 2025. Segundo dados do Eurostat, no que toca a Portugal, este foi o quarto estado membro da UE que aumentou em 14.9%, enquanto a UE diminuiu em 17.9% (Económico@2015).

2.3 Rumo à Sustentabilidade

É necessário para se tratar da sustentabilidade que se defina esta como esta sendo a procura do bem-estar ambiental, económico e social sem comprometer as gerações futuras. No setor dos transportes esta definição não deixa de fazer sentido, mas é necessário repensar o modo como este setor funciona atualmente para se poderem criar e implementar medidas benéficas que levem a um transporte sustentável.

Uma das grandes problemáticas do caminho para a sustentabilidade nos transportes, e consequentemente a diminuição das emissões de GEE, prende-se com o crescimento económico, que se traduz num crescente volume de transportes e industrial. Por este motivo muitas cidades da UE estão a enfrentar grandes dificuldades para alcançar os limites de concentração estabelecidos na legislação, como se verá mais à frente, onde particularmente o transporte rodoviário tem uma grande contribuição para a qualidade do ar urbano.

Existem inúmeros pontos-chave que originam impactos negativos rumo à sustentabilidade tanto ao nível económico como ao social e ambiental (Litman *et al.*, 2006). Os que mais se destacam a nível económico são o congestionamento de tráfego, danos de acidentes, custos de instalação e custos para o consumidor; ao nível social tem-se a desigualdade de impactos, a mobilidade desfavorecida, impactos na saúde humana, e a estética; a nível ambiental os impactos que mais se destacam são a poluição do ar e da água, a perda de habitats e os impactos hidrológicos.

Segundo Litman (2003) para o transporte se tornar sustentável é necessário que se tomem medidas como o melhor planeamento do transporte, a redução do uso de automóvel em áreas urbanas, o aumento do transporte público, a distribuição através do maior tipo de modos de transporte; todas estas iniciativas aplicadas individualmente formarão em conjunto benefícios substanciais. O autor defende ainda que o planeamento de transportes rumo a um sistema sustentável não pode ocorrer apenas na mudança das tecnologias nos veículos e na melhoria do tráfego, sendo necessário que exista a preocupação do espaço público e do consumidor que leve a um aumento de eficiência económica, segurança ambiental e equidade social.

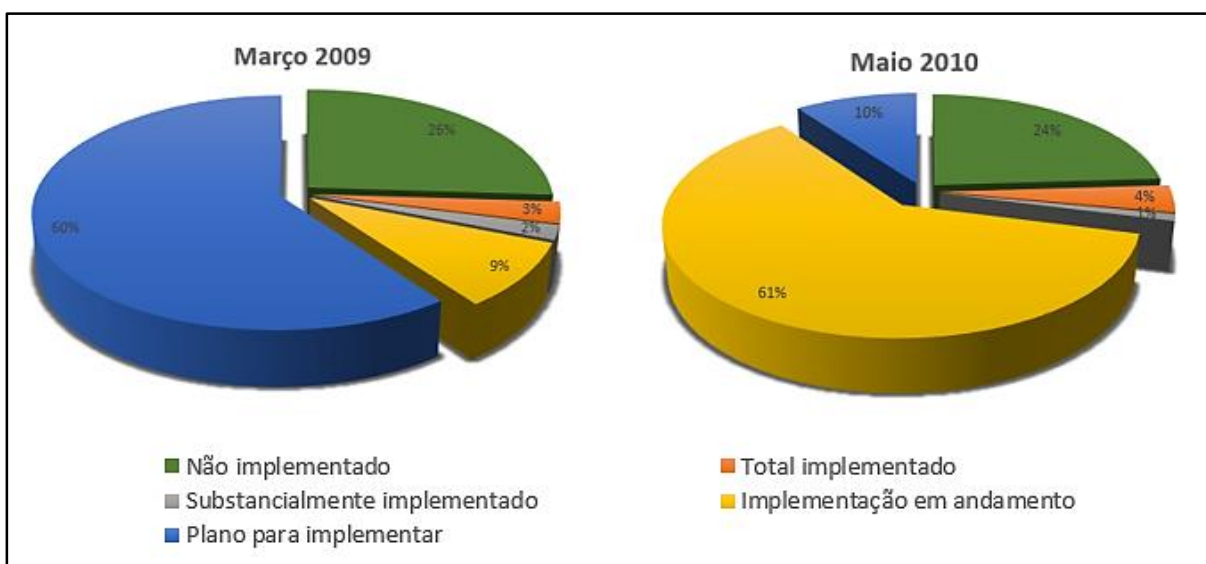
Várias estratégias têm sido propostas para uma mudança no setor dos transportes rumo à sustentabilidade. Steg *et al.* (2005) fazem a distinção entre mudanças comportamentais e tecnológicas; mudanças comportamentais incidem-se na redução do uso de veículos utilizando transportes menos poluentes e melhores opções de viagens, enquanto mudanças tecnológicas incidem na redução dos impactos negativos gerados pelos veículos. Neste estudo chegou-se à conclusão que o consumidor prefere as mudanças tecnológicas às mudanças comportamentais, isto porque as mudanças comportamentais exigem um esforço acrescido por parte do consumidor bem como uma perda de liberdade de mobilidade, conforto e conveniência. Neste sentido, o uso de veículos com maior eficiência energética permitiria que o consumidor continuasse com a sua mobilidade habitual, diminuindo significativamente as emissões de GEE, ainda que mesmo assim não tanto como seria de esperar, pois o volume de tráfego iria aumentar e não seria sustentável a longo prazo.

Muitos autores que realizaram estudos referentes à sustentabilidade no setor dos transportes, indicam soluções complementares aos veículos. Litman *et al.* (2006) refere a necessidade da melhoria por exemplo das condições dos passeios de modo a que haja uma maior segurança e incentivo de andar a pé, ou então melhorias e criação de ciclovias para o incentivo ao uso da bicicleta. Já Kojima *et al.* (2010), referem recomendações que incidem no veículo ligeiro, tendo em conta a eficiência energética dos pneus, padrões de economia e a eco condução por parte dos condutores. Steg *et al.* (2005) defendem uma melhoria no que diz respeito às tecnologias usadas nos veículos, bem como a mudança do comportamento por parte dos utilizadores.

Relativamente às recomendações já referidas atrás por Kojima *et al.* (2010) no que diz respeito à economia de combustível nos veículos ligeiros, este refere a adoção de normas e acordos

efetuados na UE para o controle e diminuição das emissões de CO₂ entre 2012 e 2015. Sendo em 2005 o nível médio de emissões de CO₂ de um veículo ligeiro de 161g/km, esperava-se que até 2015 fosse de 130g/km. No que diz respeito à eco condução esperava-se uma diminuição de 10% durante o mesmo período de redução de combustível com apoio de tecnologias implementadas nos veículos, como o indicador de mudança de velocidade, sendo esta uma tecnologia implementada na UE em todos os veículos novos desde 2012, e no Japão esta tecnologia em 2009 já estaria implementada em 70% dos novos automóveis.

Com estas recomendações, muitos dos países membros da AIE passaram do planeamento à implementação, sendo que o progresso alcançado é bastante satisfatório como se mostra na figura 2.11.



Fonte de dados: Vicente, 2011

Figura 2.11– Implementação de recomendações de redução de GEE (%)

O facto de existirem políticas que ainda não estão implementadas ou que não sejam implementadas, leva a que a procura pela energia continue a aumentar, Kojima *et al.* (2010) defendem que a procura pela energia primária nestas condições a nível mundial aumente 40% até 2030 em relação ao ano de 2007, sendo que o setor dos transportes representam cerca de 19% deste aumento até 2007, e prevê-se que este setor seja o responsável entre 2007 e 2030 pelo aumento do consumo do petróleo em 97%; estes fatos levariam a que as emissões de CO₂ fossem de 40.2 giga toneladas em 2030 com um aumento de 1.5% anualmente.

No entanto, aplicando-se os limites presentes no acordo dos países da AIE, prevê-se uma redução de consumo de combustível em cerca de 50% no ano de 2030, levando a uma redução de 500 000 toneladas de petróleo, que diminuiria anualmente em quase 1Gt as emissões de CO₂.

Estes limites são impostos através de políticas criadas em cada país membro da AIE; nos EUA, a economia de combustível começou a ser regulamentada desde 1975 através do programa “*Corporate Average Fuel Economy*”, em que veículos até 3 600 kg são obrigados a cumprir uma meta mínima de consumo de combustível (milhas por galão); já no Japão o governo introduziu metas de eficiência de combustão vinculativa para veículos ligeiros, sendo a meta mais recente estabelecida em 2015; na UE, em 1995 a Comissão Europeia (CE) propôs estratégias para reduzir as emissões de CO₂ a um nível médio de 120 g/km até 2005. Desde 2009 têm sido implementados padrões de eficiência de combustível em torno de emissões de CO₂ com o intuito destas chegarem aos 120g/km em 2012, pois as estratégias implementadas em 1995 fracassaram e apenas reduziram de 172g/km para 153g/km no período 2000-2007 (Kojima *et al.*, 2010).

Para além destas medidas impostas para redução de CO₂, os governos também têm um papel fundamental na promoção de incentivos na aquisição de veículos verdes. Por exemplo, no Japão está disponível um crédito de imposto para veículos com emissões de CO₂ e consumo de combustível baixo; já nos EUA são fornecidos créditos tributários na aquisição de veículos elétricos. Para além de serem criadas condições de incentivo ao uso de veículos menos poluentes, também podem ser criadas, em complemento, medidas de desincentivo ao uso dos transportes convencionais, utilizando o método de “poluidor-pagador”, impostos e aumento do preço de seguros, ou então uma medida mais imediata, o pagamento por parte do condutor que use a zona central das cidades promovendo o congestionamento nas zonas mais críticas. Foi efetuada esta experiência de desincentivo ao uso do automóvel nas zonas centrais de Londres e Estocolmo e os resultados foram bastante satisfatórios; o esquema utilizado provocou uma redução de viagens dentro da zona em cerca de 15 a 19% (Kojima *et al.*, 2010).

No que diz respeito à eco condução (Kojima *et al.*, 2010), parte dos governos tomaram iniciativas de incentivar a formação dos condutores e implementação de instrumentos de feedback do veículo por parte dos fabricantes; estas medidas podem melhorar significativamente o consumo de combustível e diminuir as emissões de CO₂ para a atmosfera, bem como a redução do ruído e maior segurança. Dentro das medidas eco condução podemos realçar a otimização da engrenagem, evitar a rápida aceleração e desaceleração, evitar manter o carro ligado em longos períodos de paragem, a condução em velocidades mais eficientes (estima-se que a velocidade mais eficiente seja entre 60 e 90 km/h), e a redução de peso desnecessário; estima-se que estas medidas de eco condução poderiam reduzir até cerca de 20% o combustível utilizado. Uma medida de eco condução implementada na UE em 2009 através do regulamento CE 661/2009, prevê a instalação obrigatória em todos os veículos de um indicador de mudança de velocidades. Para além de esta ser uma recomendação da AIE é uma medida que visa a promoção de uma condução eficiente.

Uma das possíveis mudanças de comportamento por parte do consumidor e das entidades responsáveis está ligada com um maior planeamento de transporte e transferência modal (Kojima *et al.* 2010), o incentivo ao uso de vias ferroviárias para transferência de carga, o incentivo ao uso da bicicleta criando condições e infraestruturas, e talvez um dos mais importantes e que gere um maior movimento de pessoas, o transporte público mais eficiente e apelativo. Com a expansão urbana da população para as periferias das cidades, verificou-se um aumento do uso do veículo individual como meio de deslocação, muitas vezes porque a qualidade do serviço de transporte público não compensa os preços praticados e a qualidade oferecida, bem como informações a tempo útil são muitas vezes inexistentes. É possível verificar através da figura 2.12, a diferença do espaço requerido na infraestrutura (para o transporte do mesmo número de pessoas) entre veículo individual, bicicleta e transporte público, e daí retirar-se algumas conclusões sobre quão importante é o incentivo à mudança do comportamento do consumidor.



Fonte: <http://www.theherald.com.au/story/2528666/opinion-cycleway-costs-well-worth-it/> - consultado em Outubro/2015

Figura 2.12– Comparação de ocupação do solo

Para além da necessidade da otimização do transporte público é necessário que haja também uma promoção da procura transporte. Esta via é sem dúvida, uma ferramenta cada vez mais eficaz na procura da sustentabilidade deste setor. Vicente (2011) refere o domínio do uso do carro em relação ao transporte de passageiros, referindo também a saturação do uso do carro ocorrida em alguns países da UE onde aumentou em 2.6% a distância percorrida *per capita* entre o ano de 1999 e 2009; o pico na Dinamarca deu-se no ano de 1999, na França, Espanha e Reino Unido ocorreu em 2002, e na Suíça em 2004, apesar de esta tendência ter vindo a decrescer. Defende ainda o mesmo autor a causa como sendo oriunda da combinação entre o

aumento do congestionamento, o aumento dos preços de combustível, as políticas de desincentivo ao uso do veículo ligeiro, e ainda o envelhecimento da população que também pode ter sido um fator determinante neste decréscimo. Para o complemento deste decréscimo é necessário a procura de uma otimização no que toca ao transporte de passageiros, mas também de mercadorias; Vicente (2011) aconselha que o transporte de mercadorias que ultrapasse os 300 km seja transferido para outros modos como ferroviário ou o marítimo em 30% no ano de 2030, e em 50% no ano de 2050; aconselha também a utilização da via-férrea para os passageiros que percorrem viagens de média distância; de facto este modo de transporte tem vindo a sofrer evoluções positivas no que toca a transporte de passageiros, principalmente para o transporte de alta velocidade que prevê um aumento de 40% da sua rede entre o ano de 2010 e 2017.

Para avaliar a sustentabilidade, Litman *et al.* (2006) propõem a utilização de indicadores que acompanham a tendência, sendo que através destes também é possível avaliar determinadas políticas bem como definir metas. Alguns indicadores simples utilizados para benefício da sustentabilidade são: quanto menor o consumo de combustível e emissões de CO₂, menores as emissões de poluentes do veículo, menor o número de quilómetros por automóvel, danos e mortes em acidentes de tráfego, e congestionamento. É também benéfico o aumento do número de modos de transporte a utilizar.

3. ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS

É imperativo cada vez mais o uso de alternativas aos combustíveis fósseis, rumo à sustentabilidade. As mais fiáveis e que a curto prazo se têm mostrado eficazes são a eletricidade, biocombustíveis e hidrogénio. Vicente (2011) refere, no que toca a novas tecnologias de propulsão, que a UE irá atingir uma cota de uso de 10% de energias renováveis até 2020 no setor dos transportes, sendo que a eletricidade irá provocar um aumento de 42% da produção total de energia renovável.

A utilização de energias renováveis seria benéfica, principalmente a nível ambiental, mas acarreta algumas barreiras; Vicente (2011) faz a referência a nível económico, onde a substituição de veículos convencionais por veículos com combustíveis alternativos faz com que diminua a receita de impostos que existe atualmente nos países; para além desta barreira económica, também o tempo de vida médio dos veículos tem aumentado em mais de 20% na maioria dos casos, o que leva a que a taxa de penetração de novas tecnologias seja mais demorada do que se pretendia.

Vicente (2011) afirma que a mobilidade elétrica é o candidato preferencial para substituir os combustíveis fósseis a nível ambiental, ainda que existam bicicletas, motas e autocarros com um importante papel a desempenhar no futuro.

3.1 Biocombustíveis

O tema do uso de biocombustíveis para a substituição dos combustíveis fósseis no mundo dos transportes tem sido bastante controverso, pois, apesar das suas vantagens, também traz algumas desvantagens. Mas esta continua a ser uma das alternativas a curto prazo aos derivados do petróleo no que toca aos combustíveis.

Odgen *et al.* (2011a) no seu estudo sobre os transportes e sustentabilidade clarificam alguns conceitos sobre o biocombustível, suas vantagens e as suas desvantagens. O biocombustível é um combustível líquido ou gasoso oriundo de matéria-prima não fóssil, produzido a partir de plantas. Existem dois tipos de biocombustíveis que dependem da tecnologia de conversão: os biocombustíveis de primeira geração e os de segunda geração. Os primeiros têm um inconveniente, pois entram em concorrência com a produção alimentar, pelo que a sua produção em grande escala para o setor dos transportes poderá levar a que os preços das matérias-primas passem a ser inoportáveis; este tipo de biocombustível de primeira geração é produzido a

partir de milho, beterraba, colza, trigo, girassol e cana-de-açúcar. Já os biocombustíveis de segunda geração são produzidos através de celulose e outras fibras vegetais presentes na madeira e em partes não comestíveis de vegetais, bem como através de algas e resíduos, sendo que este tipo de biocombustível poderá trazer inconvenientes a nível do impacto ambiental.

Os biocombustíveis líquidos de primeira geração mais comuns são o etanol e o biodiesel. O etanol é já um produto bastante utilizado em mistura com gasolina para veículos. Já o biodiesel é um produto obtido a partir da transesterificação de óleos e gorduras de origem animal. Estes dois biocombustíveis são considerados como ótimas alternativas aos combustíveis fósseis a curto prazo. Como Goldemberg (2008) refere, no Brasil existe uma grande produção de cana-de-açúcar, matéria-prima que contém um grande balanço energético, servindo para a produção de etanol que abastece cerca de 40% dos veículos de passageiros. Através da figura 3.1, é apresentada a evolução que a produção de biocombustíveis tem sofrido a nível global, tornando-se notório o crescimento de biodiesel e bio etanol convencional a partir de 2005, sendo espectável um aumento significativo até 2020.

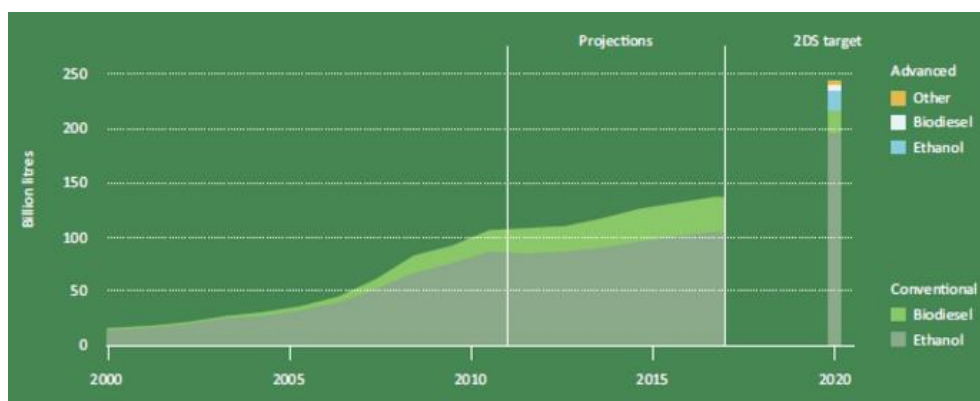


Figura 3.1 – Produção global de biocombustíveis (IEA@, 2012)

Sendo o bio etanol um dos principais biocombustíveis utilizados em complemento com os combustíveis fósseis convencionais, é importante perceber-se a sua forma de produção através das figuras 3.2 e 3.3, onde é representado de forma esquemática o processamento de segunda e primeira geração.

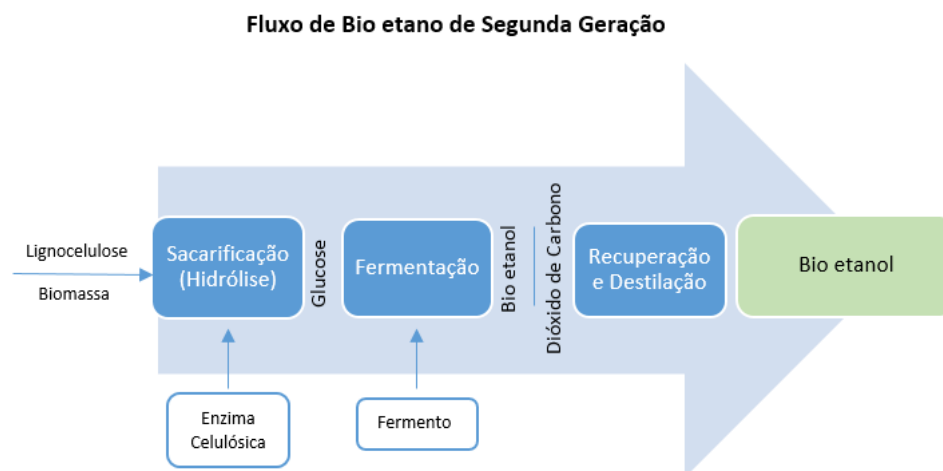


Figura 3.2– Etapas de processamento de bio etanol de segunda geração (adaptado de Goldemberg, 2008)

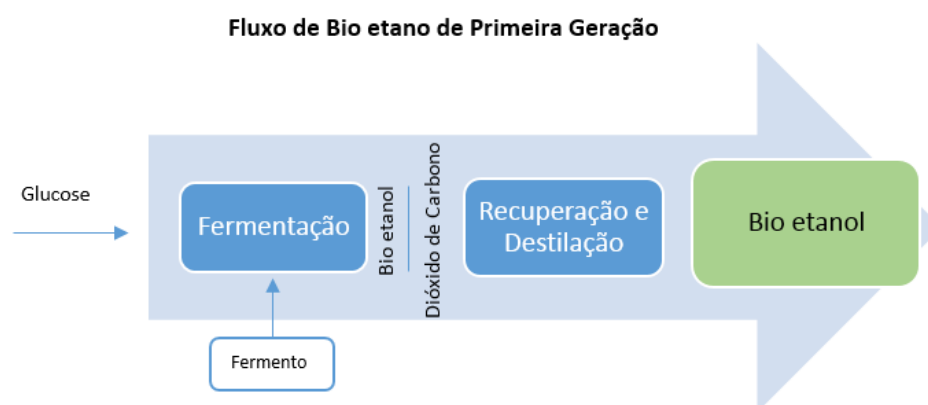


Figura 3.3- Etapas de processamento de bio etanol de primeira geração (adaptado Goldemberg, 2008)

A vantagem dos biocombustíveis é a sua compatibilidade com os veículos de motor de combustão interna; apesar de esta compatibilidade ter ainda uma ponderação no seu uso em termos de percentagem de mistura do biocombustível com a gasolina/gasóleo, no caso do etanol essa percentagem é de 10% a 15%, e no caso do biodiesel é de 5%; esta ponderação é utilizada para evitar efeitos contraproducentes nos veículos.

A introdução de biocombustíveis em Portugal foi regulamentada através do Decreto-Lei nº 62/2006 com o intuito de promover a inserção nos mercados de biocombustíveis e energias renováveis nos transportes. Este decreto-lei parte da iniciativa da CE através da Diretiva nº2003/30/CE que visa a inserção de cotas mínimas de biocombustíveis em substituição de

combustíveis fósseis, com o intuito de cumprir metas propostas para reduzir as alterações climáticas.

No que toca à sustentabilidade deste tipo de combustível, esta ainda é bastante debatida devido aos impactes negativos que possam trazer. Apesar de os biocombustíveis serem considerados como fonte de energia verde devido à diminuição das emissões dos GEE quando utilizados como combustíveis em veículos, há um enorme impacto negativo a nível ambiental associado à produção da matéria-prima. O cultivo e produção da sua matéria-prima produz de igual forma GEE, pois é necessária em larga escala, a desmatamento de vegetação já existente provocando assim uma perda de habitat de espécies; o uso de químicos no seu cultivo e tratamento leva a que haja uma degradação da qualidade dos solos, bem como a poluição dos leitos de água subterrâneos e poluição do ar.

3.2 Veículos Elétricos

Høyer (2008) apresenta a história dos veículos elétricos (VE), onde refere que estes surgiram, ainda que modelos experimentais, na década de 1830 nos EUA, Reino Unido e países Baixos. Em 1859, Gaston Plante desenvolveu processos relativamente à bateria, chegando a fazer demonstração de uma composta por chumbo-ácido. Já em 1901, Thomas Edison tentou desenvolver baterias mais eficientes utilizando níquel e ferro, e foi desta forma que o entusiasmo pelo VE surgiu novamente. Esta bateria armazenava mais 40% de energia do que a bateria de chumbo-ácido, mas os seus custos eram tão elevados que a sua utilização tornou-se restritiva. Apesar deste ponto negativo, houve o contínuo interesse no desenvolvimento de VE, especialmente nos EUA chegando a estar registados 30 000 veículos no ano de 1912. Após vários desenvolvimentos, era necessário combater o alcance limitado deste tipo de veículos, e foi neste contexto que surgiu o veículo híbrido ainda em 1900 pela marca Porsche, que rapidamente perdeu interesse durante a primeira guerra mundial. A década de 1970 tornar-se-ia novamente um período ativo no desenvolvimento do VE combinando a redução de emissões de poluentes com uma fonte de energia limpa, e desde esta data, principalmente na década de 1990, tanto os fabricantes de veículos como os países têm-se mantido interessados no desenvolvimento desta tecnologia. Sendo que esquematicamente através da figura 3.4, é apresentado o *stock* que existe atualmente de VE e aquele que se pretende alcançar até 2020, onde se espera um crescimento deste tipo de veículos em 90% relativamente à atualidade.

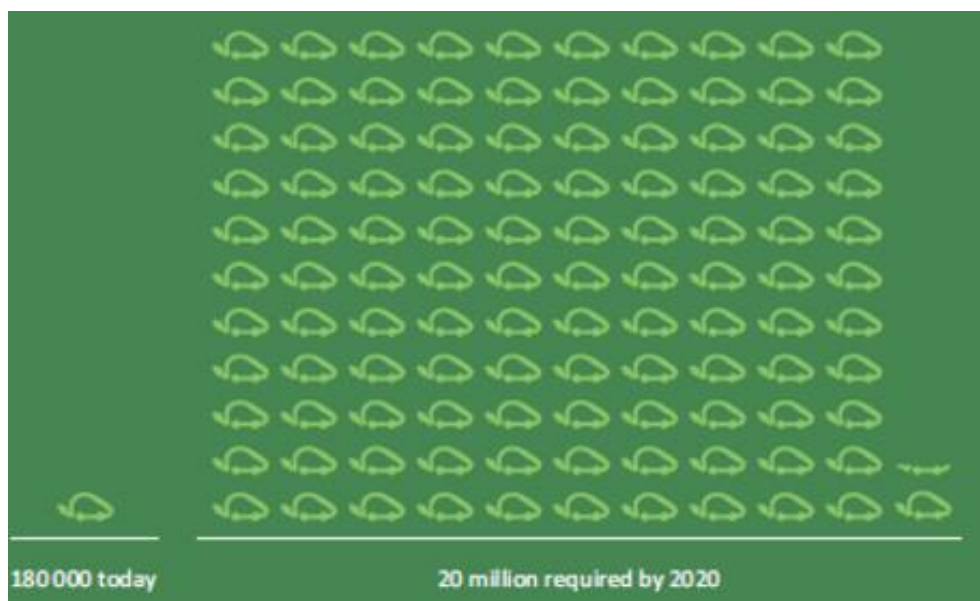


Figura 3.4 – *Stock* de veículos elétricos (IEA@, 2012)

A nível ambiental estes veículos trazem alguns benefícios, através da sua fonte de energia, a eletricidade que pode ser produzida a partir de fontes com baixo teor de carbono, é possível a redução de emissões de GEE. Hawkins *et al.* (2012) acreditam que a utilização deste tipo de veículos através do mix de eletricidade existente na Europa é possível reduzir para 24% o aquecimento global provocado pelos veículos convencionais (CV), tendo em conta um período de vida útil de 150 000 km.

Os VE têm sido uma opção aceitável pelo consumidor em alternativa aos VC. Os VE já se encontram no mercado desde o ano de 1990, tendo vindo a ser desenvolvidos com tecnologias mais avançadas, motores elétricos mais avançados e mais eficientes, e melhorias de design. Dentro da gama dos VE existem vários tipos consoante a(s) fonte(s) de energia que estes usam; existem os veículos elétricos a bateria (só com motor elétrico) também chamados puramente elétricos (VEB), veículos híbridos (VEH) e veículos híbridos plug-in (VEHP).

Os VE têm a particularidade de serem inovadores no que toca à sua fonte de energia principal, sendo apenas alimentados a bateria, normalmente de iões de lítio, sendo estas as mais eficazes, usando um motor de alta voltagem.

Tal como foi referido na secção 2.3, os governos têm um papel bastante importante no que toca à criação e implementação de políticas que promovam a sustentabilidade; estes estabelecem nessas políticas propostas desejáveis relativamente à aquisição de veículos energeticamente eficientes para se alcançar os objetivos propostos a nível ambiental. Através da figura 3.5, é visível a ambição por parte dos governos no número de fabrico de veículos desejáveis de gama

elétrica desde que estes começaram a surgir com maior ênfase; mas apesar disso, os fabricantes destes têm mantido alguma ponderação relativamente ao seu fabrico, devido ainda à sua baixa procura, ficando muito aquém das expectativas esperadas pelos governos.

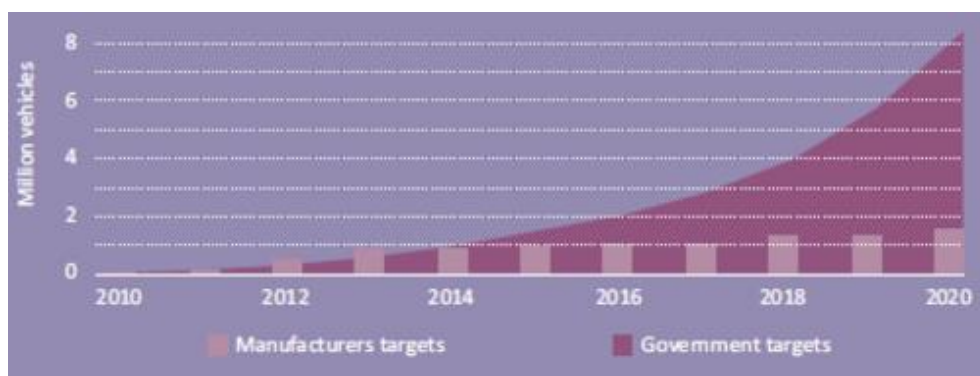


Figura 3.5 – Ambições de governo e fabricantes de veículos elétricos (IEA@, 2012)

No que toca aos veículos elétricos híbridos, são necessárias duas fontes de energia para o seu movimento; estes são veículos possuidores de um motor de combustão interna e um motor elétrico que permite reduzir o esforço de motor de combustão e conseqüentemente reduzir o consumo e emissões de GEE. O motor de combustão interna é normalmente a gasolina, que sendo um combustível de origem fóssil, aquando da sua queima liberta grandes quantidades de CO₂, (2.36 kg/litro), nunca podendo ser, por isso, nula a sua contribuição para a emissão de gases (o gasóleo produz 2.67 kg CO₂/litro). No entanto, este tipo de veículos tem a particularidade de, em viagens curtas onde o condutor poderá efetuar travagens, parar e arrancar, a energia cinética poder ser transformada em energia elétrica, o que faz com que o consumo deste tipo de veículos diminua.

Já foi referido anteriormente as vantagens a nível ambiental que um VE tem relativamente ao VC. Taymaz *et al.* (2014) realizaram uma simulação no que toca a emissões de CO₂ do veículo híbrido (VEH), mostrando a redução de 30 a 60% de emissões em ciclo de cidade comparado com o VC. A procura deste tipo de veículo tem sido feita de uma forma lenta para o que seria de esperar por parte dos fabricantes, e desejável para um futuro sustentável, sendo que os últimos dados, referentes a 2015, mostravam a existência de menos de 6% de VEH, através da figura 3.6, pode constatar-se a tendência a esperar por parte da AIE em 2020, prevendo a existência de 12% de VEH a nível global, duplicando o seu valor num espaço de 5 anos.

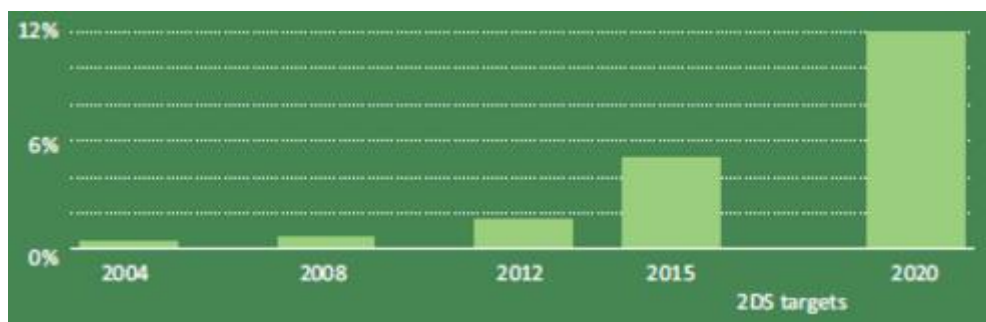


Figura 3.6- Mercado de veículos elétricos híbridos (VEH) (IEA@, 2012)

No Anexo A (figura A.1) é representado de forma esquemática o aumento dos fabricantes de VEH, entre 2001 e 2014, havendo na atualidade mais variedade de escolha que em 2001 altura em que só existiam dois modelos: o Toyota Prius que representava 95 % dos VEH existentes, e o Honda Insight a representar os restantes 5%.

Um VEHP é em tudo semelhante a um VEH, mas contendo também um motor de combustão interna, tem a particularidade de as suas baterias poderem ser carregadas diretamente através de uma tomada elétrica convencional, contendo também um motor de combustão interna. Estes veículos têm obtido grande visibilidade no mercado do mundo automóvel desde a década de 90, fazendo com que a eletricidade se torne uma alternativa bastante viável aos combustíveis fósseis. No que toca à comercialização, vários fabricantes já os colocaram no mercado, existindo vários modelos à escolha para o consumidor. Contudo, ainda se está longe da comercialização pretendida devido a algumas dificuldades associadas aos VE que ainda não estão completamente resolvidas, como a autonomia das baterias e o seu preço, as infraestruturas disponíveis para o seu carregamento, bem como a demora deste. Por estes motivos ainda se encontra um longo caminho pela frente para que estes veículos se tornem competitivos em relação aos veículos movidos a derivados do petróleo.

Os VEHP têm alcançado uma expansão devido à sua vantagem de combinação de motor a combustão interna e eletricidade, tornando-se um veículo promissor no futuro para viagens de maior distância; devido a esta combinação, estes veículos produzem menos GEE e menores emissões de CO₂ que um VC, tornando-se mais amigos do ambiente e com custos de utilização menores (Al-Alawi *et al*, 2013).

Axsen *et al.* (2013) realizaram um estudo referente à escolha do consumidor perante os VC e os três tipos de veículos da gama elétrica existente no mercado: o VEB, o VEHP e VEH. Os dados para o estudo foram obtidos no estado da Califórnia no ano de 2011 e são relativos a 508 famílias, representando compradores de veículos.

Este estudo teve por base as características referentes a cada veículo como o seu tamanho, o preço de compra e de manutenção, as necessidades de cada tipo durante o seu ciclo de vida. Axsen *et al.* (2013) chegaram à conclusão que na gama existente dos VC e VE, o selecionado seria o VEHP, devido à combinação existente entre a gasolina (combustível que os consumidores já estão habituados e garante autonomia e rapidez de reabastecimento) e a rede elétrica; deste modo utilizando esta combinação o percurso das viagens poderia ser mais longo, e existiria um custo mais reduzido devido a serem necessárias baterias menos potentes, logo menos pesadas e dispendiosas.

As infraestruturas de carregamento são cada vez mais importantes no que toca à escolha da compra de um VE, sendo ainda esta uma questão que o consumidor considera na sua decisão aquando da compra; as infraestruturas podem tornar-se um obstáculo e assim um ciclo vicioso. A rede não é tão abrangente como os postos de abastecimento para VC, o que traz aos consumidores alguma mudança no que diz respeito ao carregamento. Mas, não existindo veículos da gama elétrica em número que justifique o custo de implementação de mais postos de rede elétrica para abastecer, o contrário também ocorre; isto é; não existindo postos em número satisfatório para os consumidores, estes também continuam a retrair-se em relação à compra de um veículo deste tipo, criando-se assim um círculo vicioso. O número de postos de abastecimento público tem vindo, mesmo assim, a melhorar principalmente nos países onde o poder económico é maior, onde este ainda é crucial na aquisição de VE. No Anexo A (figura A.2) é apresentado um esquema a nível mundial, onde se pode verificar o número de postos de reabastecimento público existentes (designados por EVSE), em relação ao número de vendas de VE.

Barbosa (2012) fez um levantamento das condições da rede de abastecimento para veículos da gama elétrica; atualmente a rede de mobilidade elétrica em Portugal é gerida e dinamizada pelo consórcio Mobi.E, em que a EDP é responsável por 51% do capital. Esta rede é composta por 1300 postos de carregamento normal e 50 postos de carregamento rápido repartidos por 25 municípios, sendo que os postos de carregamento rápido efetuam a carga em 20 a 30 minutos e os postos de carregamento lento em 6 a 8 horas. Era previsto que até 2012 este carregamento de baterias em postos públicos não tivesse qualquer custo por forma a incentivar o uso de veículos de gama elétrica, sendo após isso cobrada a eletricidade consumida bem como a taxa do serviço através de um cartão pré-pago, CHARG.E. Contudo, devido há falta de legislação em relação a este assunto ainda existente, estes carregamentos ainda se fazem de forma gratuita. No ano de 2012 Barbosa (2012) realizou uma estimativa do previsto custo de abastecimento, em que para cada 100 km corresponderia um montante de 1.5 a 4.5 euros, consoante o carregamento fosse realizado em casa do consumir no período da noite (em tarifa bi-horária) ou num posto público de abastecimento rápido, respetivamente. Através da figura 3.7, é apresentado um exemplo de um posto de carregamento de VE público a operar em Portugal.



Fonte: <http://factorautomovel.blogspot.pt/2011/04/mobie-um-sucesso.html>

Figura 3.7 – Posto de carregamento de veículos elétricos público

Mais detalhadamente, existem três níveis de carregamento, que vão desde o nível um (baixa potência) até ao nível três (elevada potência). Nos EUA as tomadas das residências suportam uma tensão de 110 V, o que leva a bateria do veículo tenha um longo período de carregamento, já as infraestruturas de carregamento urbano têm uma tensão de 220V, o que torna o seu carregamento mais rápido (normalmente estes de carregamento de nível três, que permite que a bateria seja carregada em 80% em meia hora) (Axsen *et al.*, 2011). Mesmo assim, a oferta que ainda existe para estes carregamentos em meio urbano não são os suficientes para que o consumidor não tome esta questão como um impedimento na compra de um veículo elétrico. Um dos problemas ainda existentes no que toca ao carregamento de baterias é o pico da procura, sendo que segundo Axsen *et al.*, (2011), este dá-se entre as 18h00 e as 00h00, coincidindo com o pico de consumo de energia nas habitações, o que leva a que haja uma grande necessidade de oferta de energia na rede nestes períodos para satisfazer a procura. Um dos incentivos políticos seria a redução do preço da energia fora dos horários de pico, o que levaria a um carregamento maior de baterias fora desse horário, sem causar elevado consumo durante a hora de pico do consumo energético. Em Portugal, o tempo de reabastecimento numa tomada convencional de habitação é de 6 a 8 horas com uma tensão de 220V, sendo que nos postos de abastecimento público o carregamento de 80% da sua capacidade tem a duração de 15 a 20 minutos com uma tensão de 380V.

Um dos grandes problemas que ainda afeta a compra de um veículo da gama elétrica é o seu custo de aquisição, como se verá mais à frente onde se efetua a comparação de custos. Este

custo inicial elevado deve-se em muito ao custo ainda elevado da principal componente destes veículos - a bateria. Mas este obstáculo tem vindo a desvanecer-se, e o custo da bateria tem vindo a decrescer na última década. Segundo 80 fontes diferentes de dados, em 2007, a estimativa de custo para uma bateria de iões-lítio era superior a 922€ por kWh; já em 2014 esse custo, nos principais veículos da gama elétrica rondaria 277 € por kWh; se este decréscimo continuar a esse ritmo que se encontra é possível alcançar os 138€ por kWh na próxima década, altura em que os veículos de gama elétrica podem entrar em concorrência com o VC, previsivelmente na próxima década (Climate Home@2015). A IEA@ (2012) vai ao encontro desta redução de preços, estimando que este custo sofra uma redução de praticamente 50% no período de 2010 a 2020, como é ilustrado na figura 3.8. Dados mais recentes da AIE referentes ao período de 2011-2015, ilustra através da figura A.2 (Anexo A), a redução de custos que as baterias tem vindo a sofrer, que tem vindo a ser proporcionalmente inversa à potência destas.

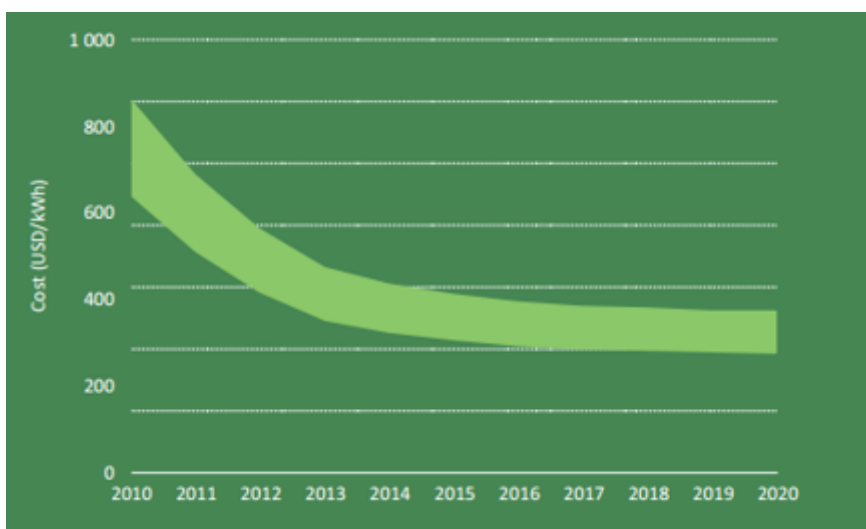


Figura 3.8 – Estimativa de redução do custo de baterias para 2020 (IEA@, 2012)

Segundo Barbosa (2012) a massificação dos veículos da gama elétrica poderá ainda levar algum tempo a acontecer, estimando que só ocorrerá depois de 2030 no que toca a Portugal, apesar de o primeiro veículo elétrico produzido no nosso país venha a ser lançado no mercado já em 2016 com uma autonomia de 400 km e com o custo de 1€/100 km (Económico@2016).

3.3 Gás de Petróleo Liquefeito

O gás de petróleo liquefeito (GPL) é obtido através da extração e processamento do gás natural ou através da refinação do petróleo bruto, em que os seus principais componentes são o propano e o butano, sendo que estes são misturados em percentagens variáveis de forma a obter uma mistura rentável. A possibilidade de liquefação deste gás a uma temperatura ambiente devido à

sua composição permite que este seja armazenado, transportado e distribuído de uma forma facilitada (Apetro@2016a).

Quanto á sustentabilidade no setor dos transportes, o GPL traz vantagens. Este comparativamente com os restantes combustíveis fósseis utilizados na combustão interna dos veículos permite uma redução significativa dos GEE. Relativamente à gasolina, este tem uma redução de cerca de 10% em emissões de CO₂, e uma redução de NOx e de hidrocarbonetos; estima-se também menos 85% no que se refere às emissões de gases nocivos à camada do ozono e consequentemente ao aquecimento global (Galp Energia@2016).

O GPL já existe em Portugal desde 1938 para outros fins, sendo que só a partir de 1992 é que se adotou este como combustível para o parque automóvel, contando com cerca de 50.000 viaturas movidas a GPL, e existindo no nosso país cerca de 290 postos de abastecimento. Mas devido às suas vantagens, este gás já é utilizado há mais tempo um pouco por todo mundo para o abastecimento de veículos. Por exemplo, na Holanda este tipo de mercado existe há já 40 anos, contando com um parque automóvel de cerca de 800.000 veículos e 2 400 postos de abastecimento; em Itália, existem cerca de 1.300.000 veículos com este combustível contando com 1700 postos de abastecimento. No mundo, para os mais céticos relativamente ao uso de veículos elétricos e a hidrogénio, o GPL torna-se a alternativa mais eficaz para a substituição da gasolina e gasóleo, estimando-se uma utilização anual de cerca de 10.000.000 de toneladas para uso automóvel (AUTOGAS@2016).

O GPL pode ser vaporizado e queimado num motor de ignição como sendo um veículo com motor a gasolina; inicialmente apenas se podia instalar o sistema de gás num veículo a gasolina, desde que fosse realizado por oficinas especializadas e credenciadas pelo IMTT (em Portugal), mas atualmente já existem veículos que vêm de fábrica com este sistema. Uma das vantagens destes veículos *bi-fuel* é o aumento da sua autonomia, pois são compostos por dois depósitos, um destinado à gasolina e outro ao GPL.

Relativamente ao seu transporte, este pode ser efetuado através de gasodutos ou através de camiões cisterna como os restantes combustíveis fósseis. Quanto à pressão usada no seu armazenamento este pode variar entre 0.52 MPa (5.2 bar) e os 1.55MPa (15.5 bar) a uma temperatura de 40°C, que depende também da proporção existente entre o propano e o butano. No que toca à pressão de vapor do armazenamento para veículos, a uma temperatura de 23°C, esta pressão ronda os 0.46 MPa (4.6 bar).

O armazenamento no veículo é efetuado através de um depósito, que tem que cumprir normas específicas que garantam a segurança do veículo e do consumidor, por isso mesmo os depósitos são submetidos a tratamento térmico de recozimento para que todas as tensões internas sejam eliminadas. Para uma melhor segurança a pressão de projeto e pressão de rotura é muito superior

à pressão que o gás se encontra em situação de condições normais, sendo a pressão de projeto de cerca de 30 bar, e a pressão de rotura de cerca de 67.5 bar. Para além das especificações de pressão de depósitos, estes também têm que obedecer a normas e requisitos legais quanto à sua localização e proteção no veículo, é necessário que estes se localizem em zonas ventiladas, e protegidas contra pancadas e vibrações constantes (Apetro@2016b).

Uma das suscetibilidades que estes veículos tinham até há bem pouco tempo, era a sua proibição de estacionamento em parques fechados, o que fazia com que o consumidor criasse mitos sobre a segurança destes veículo, mas a portaria nº207-A/2013 veio tornar possível que estes veículos circulem em estacionamentos fechados e abaixo do nível do solo, desde que as componentes dos veículos sejam aprovadas e instalados segundo as normas legais que permitam garantir a segurança. Relativamente aos riscos que mantinham o consumidor cético em relação a veículos *bi-fuel*, um estudo realizado pela Apetro que comparou o efeito de incidentes de veículos a GPL e a gasolina, mostrou que são comparáveis, sendo que nos sistemas dos veículos a gasolina acresce a situação de incêndio por derrame.

3.4 Hidrogénio

3.4.1 Hidrogénio como Combustível Automóvel

Tal como a eletricidade e os biocombustíveis começam a ser vistos, perante o consumidor, como uma ótima alternativa aos combustíveis fósseis, também o hidrogénio começa a ganhar ênfase no setor dos transportes e sua mobilidade.

Algumas das vantagens deste combustível, são as emissões de GEE serem praticamente nulas, dependendo da sua fonte; como também o reabastecimento do veículo faz-se em menor tempo comparativamente aos VE.

O hidrogénio tem a vantagem de ser um combustível com uma ampla gama de matérias-primas para a sua transformação. Dependendo do uso da eletricidade, pode ser produzido através de energias renováveis, combustíveis fósseis e através da energia nuclear. Os combustíveis fósseis, principalmente gás natural, ainda é uma das matérias-primas com menor custo e maior eficiência para a produção de hidrogénio, apesar de a produção de hidrogénio através deste recurso mantém as emissões de GEE, através do carbono emitido para a atmosfera. A longo prazo, o uso de energias renováveis tem um futuro promissor, sendo que as energias verdes levarão a que haja emissões nulas na produção de hidrogénio.

Segundo Odgen *et al.* (2011b) é necessário a análise de algumas questões antes de colocar em prática a transição para veículos movidos a hidrogénio. Estas questões relacionam-se com os desafios técnicos que este processo de transição engloba, bem como desafios logísticos que se

baseiam nos custos de transição especialmente no início desta, sendo que aqui é importante também a análise dos desafios políticos que esta transição engloba.

As marcas Toyota (modelo Mirai), figura 3.9, e Honda (modelo FCV Concept), figura 3.10, foram as primeiras a apresentar modelos de veículos movidos a hidrogénio.



Fonte: <http://www.300ahora.pt/um-carro-a-hidrogenio-vindo-do-futuro-toyota-mirai/>

Figura 3.9 – Modelo Toyota Mirai



Fonte: http://www.hdcarwallpapers.com/2014_honda_fc_v_concept-wallpapers.html

Figura 3.10 – Modelo Honda FCV Concept

Os fabricantes destes modelos preparam-se para o seu lançamento no mercado no ano de 2016 no Japão e nos EUA. No entanto é necessária a contínua procura da perfeição no que toca ao armazenamento e produção de hidrogénio com emissões de carbono nulas, que leva os fabricantes a manter a sua investigação na contínua procura e aperfeiçoamento no que diz

respeito ao uso de células de combustível para uso automóvel. As células de combustível são denominadas de baterias químicas que convertem energia química em energia elétrica e térmica. Esta conversão dá-se através de duas reações químicas entre dois elétrodos, sendo que se dá a oxidação de um combustível (neste caso, hidrogénio) no ânodo, e a redução de um oxidante no cátodo (sendo por preferência no mercado automóvel, o oxigénio) através de catalisadores, produzindo assim eletricidade para mover o veículo. Este desenvolvimento nas células de combustível tem uma enorme relevância no futuro dos combustíveis no setor dos transportes, isto pelas suas vantagens a nível ambiental. Através das células de combustível o único gás emitido para a atmosfera é vapor de água, sendo que a sua economia em termos de combustível é de 35 a 65% superior aos veículos movidos apenas a hidrogénio (Ogden *et al.*, 2011b), para além das vantagens que as células de combustível obtêm com a sua maior eficácia a nível de motor e um tempo de reabastecimento inferior.

As células de combustível poderão colmatar o problema que os veículos enfrentam na demora do seu reabastecimento e da sua autonomia, sendo que os veículos a células de combustível em relação a estes aspetos conseguem ser semelhantes aos veículos de combustão interna convencionais.

Relativamente aos veículos a hidrogénio, continua o problema de armazenamento do combustível, dado que este necessita de depósitos volumosos para dar resposta a uma autonomia pretendida do veículo; atualmente estão a ser desenvolvidos depósitos utilizando materiais como hidretos metálicos, pois estes têm a capacidade de absorver hidrogénio sujeito a pressões elevadas e libertá-lo. Enquanto o problema de armazenamento de hidrogénio para combustível automóvel não se solucionar definitivamente, os veículos comercializados irão manter depósitos de armazenamento de gás comprimido.

No entanto, os custos associados ao hidrogénio também irão depender do mercado de procura e dos custos associados à transformação das matérias-primas utilizadas.

3.4.2 Modos de Distribuição de Hidrogénio

Em relação ao custo da distribuição de hidrogénio será diretamente relacionado com a dimensão da procura e distância de entrega. A equipa de investigadores STEPS da Universidade da Califórnia em Davis (Ogden *et al.*, 2011b) realizaram um estudo para este problema de custos relacionados com a entrega segundo três opções: distribuição através de camiões de gás comprimido, através de camiões de transporte de hidrogénio em forma líquida, e através de gasodutos preparados para a distribuição de hidrogénio. Segundo este estudo chegou-se às seguintes conclusões: quando a procura aumenta, e se torna necessário a distribuição de maiores quantidades de hidrogénio, a distribuição através de gasodutos torna-se economicamente mais viável; quando a distância de distribuição se torna maior, torna-se mais eficaz a distribuição através de camiões de distribuição de hidrogénio líquido; quando se equacionam os dois fatores,

maiores quantidades necessárias a uma distância elevada, torna-se mais viável o transporte através de camiões de transporte de gás comprimido, pois estes camiões têm a capacidade de transportar maiores quantidades.

O hidrogénio produzido atualmente encontra-se descentralizado do local de consumo em cerca de 83%, sendo os restantes 17% são distribuídos por gasodutos, garrafas ou tanques. Os gasodutos utilizados são em tudo semelhantes aos usados para distribuição do gás natural, onde permite a distribuição de forma gasosa que se torna benéfica quando o local de produção é próximo do local de consumo. Nos EUA, a rede de gás hidrogénio através de gasodutos já conta com um comprimento de 752 km (Santos *et al.*, 2015). Mas existem inconvenientes neste modo de distribuição como as fugas possíveis de ocorrer, pois as partículas de hidrogénio são bastante reduzidas, e ainda a reação que o hidrogénio pode ter com as paredes do gasoduto originando nelas desgaste ao longo do tempo, o que obriga a serem adicionados inibidores de reação a estes tubos.

O hidrogénio pode ser distribuído através de cilindros e reboques com pressões normalizadas de 200 e 300 bar, podendo chegar-se a pressões mais elevadas caso o transporte seja efetuado através de camiões, vagões ou barcos. O transporte também pode ser efetuado através de camiões, normalmente para distâncias superiores a 1600 km, sendo necessário que este modo de transporte esteja equipado com tanques de refrigeração para manter temperaturas inferiores a -253°C para que as moléculas de hidrogénio não possam passar do estado líquido para o gasoso (Santos *et al.*, 2015).

3.4.3 Armazenamento de Hidrogénio

O armazenamento de hidrogénio tanto pode ser realizado sob a forma líquida como sob a forma de gás comprimido.

Segundo Santos *et al.* (2015), o seu armazenamento em estado líquido é benéfico, pois é possível armazenar maior quantidade por unidade de volume, o seu transporte torna-se mais fácil, assim como o perigo é reduzido, pois na ocorrência de uma fuga, as partículas de hidrogénio têm que aquecer de forma a evaporar-se na forma gasosa; apesar destes benefícios do estado líquido, o processo de transformação deste composto do estado gasoso para o líquido torna-se dispendioso, podendo também pode ser desperdiçada cerca de 40% da sua energia.

Já o seu armazenamento sob forma de gás comprimido, normalmente utilizado no armazenamento de pequenas quantidades, pode ser efetuado através de botijas ou tanques de pressão. A pressão do gás comprimido pode rondar a ordem dos 200 e 250 bar, mas caso este seja para utilização em larga escala pode atingir-se os 500 e 600 bar. O armazenamento sob forma de gás comprimido tem a vantagem de serem nulas as perdas energéticas.

3.4.4 Infraestruturas de Abastecimento e Distribuição de Hidrogénio

Como o hidrogénio pode ser produzido e entregue/distribuído de diversas formas, a construção de infraestruturas de abastecimento e distribuição constitui um problema complexo, sendo um investimento ainda dispendioso para um período de transição.

Segundo Ogden *et al.* (2011b) um dos problemas da construção de infraestruturas é a sua localização espacial, e se a procura em dado local irá ser satisfeita ou não; um consumidor que compre um veículo a hidrogénio tem que estar seguro de que pode abastecê-lo em qualquer parte da cidade onde reside, mas também quando este efetua viagens de média/longa distância. Para isso a procura deste tipo de combustível tem que ser ampla espacialmente, para que o custo da construção de infraestruturas deste tipo não seja um fracasso; tratando-se assim de um círculo vicioso, em que é necessário oferecer ao consumidor boas condições de infraestruturas viáveis, para que este possa adquirir veículos a hidrogénio, para que também mais infraestruturas sejam construídas de acordo com o aumento deste tipo de veículos.

3.4.5 Políticas e Estratégias de Apoio à Implementação de Hidrogénio nos Transportes

Os países começam a perceber que é necessário uma resposta e alternativas urgentes ao uso do petróleo, sendo que desde o início do século XXI, tanto governos como empresas de energia trabalham em conjunto para uma mudança de mentalidades. Segundo Ogden *et al.* (2011b), nos EUA, mais de 30 estados membros estão a desenvolver programas nacionais para a produção de hidrogénio, referindo ainda que a Shell e a Total estão a impulsionar os governos para a introdução de frotas de veículos movidos a este combustível. Também a Europa (Alemanha e Noruega), Japão e Coreia do Sul estão adotar esta nova tecnologia e a promover veículos verdes.

3.4.6 Riscos Associados ao Hidrogénio

Rodianov *et al.* (2011) realizaram um estudo relativamente ao risco de explosão associado à utilização de um veículo movido a hidrogénio. Tiveram em conta três causas possíveis associados a esses riscos: acidente do veículo com colisão, acidente com fogo sem existir colisão e devido a fugas. Foram tidas em conta também três situações: circulação normal, circulação em ambiente semi-confinado e circulação e estacionamento em ambiente confinado.

O risco de explosão de um veículo movido a hidrogénio depende da localização do embate no veículo, da velocidade (energia de choque), e do grau de deformação após o embate.

Rodianov *et al.* (2011) chegaram então às seguintes conclusões: a frequência de possibilidade de explosão devido ao hidrogénio representa menos de 2% dos acidentes de trânsito existentes, 99.8% do risco de explosões dá-se em ambientes abertos e semi-confinados.

3.5 Estudos Comparativos

Vários estudos comparativos têm vindo a ser efetuados a fim de se chegar a veículos cada vez mais eficientes a nível energético e ecológico, bem como às preferências do consumidor tendo em conta os prós e contras de cada tipo de veículo consoante a tecnologia de propulsão utilizada. O primeiro estudo comparativo incidiu sobre a avaliação do ciclo de vida ambiental entre os VE e VC realizado por Hawkins *et al.* (2012).

Hawkins *et al.* (2012) referem que os veículos ligeiros são responsáveis por cerca de 10% dos GEE assim como o uso global de energia. Devido a este valor preocupante a nível ecológico, são essenciais alternativas que visam a melhoria das condições climáticas e qualidade do ar. É neste sentido que os VE surgem como um forte candidato. Os EUA e a UE em muito têm criado incentivos e estratégias para uma implementação de VE a curto prazo; também os fabricantes de automóveis têm contribuído para este incentivo, sendo que em 2009 deu entrada em massa no mercado a primeira geração de veículos elétricos produzidos pela Mitsubishi, Nissan, Renault e Ford.

Um dos problemas relativamente ao desempenho ambiental dos VE são os impactes ambientais que a produção da eletricidade poderá provocar, assim como a vida útil do veículo e bateria. Hawkins *et al.* (2012) referem mesmo como sendo benéfico o uso do VC relativamente ao VE-considerando que o tempo de vida útil de um VC seria de 200 000 km, a substituição de bateria num VE tem maior impacto de aquecimento global do que um VC.

Os resultados de Hawkins *et al.* (2012) chegam à conclusão que é contraproducente o incentivo do uso de VE em zonas onde a eletricidade provém da lenhite, carvão ou combustão de petróleo; apenas se terá menor impacte quando é produzida através de gás natural ou energias de fontes renováveis, para os efeitos pretendidos na produção destes veículos. No entanto, o uso de VE utilizando fontes de energia limpas na produção de eletricidade permitiria a redução significativa de impactes ambientais, alterações climáticas e qualidade do ar no que toca à responsabilidade dos transportes.

O segundo estudo comparativo analisado incide sobre a comparação entre a eletricidade e hidrogénio como tecnologia de propulsão veículos. Este estudo foi realizado por Rosler *et al.* (2014), onde consideraram a eletricidade e hidrogénio como principais candidatos em alternativa aos combustíveis fósseis a longo prazo no que toca aos transportes. Inicialmente, o hidrogénio mostrava-se como um forte candidato, mas este conceito rapidamente foi desaparecendo com o aparecimento dos VE e melhorias na sua tecnologia; os autores deste estudo acreditam que esta situação tenha acontecido devido a alguns fatores como: pouco desenvolvimento na tecnologia do hidrogénio, assim como os requisitos para a implantação de infraestruturas e potenciais problemas de segurança; o aumento dos preços do petróleo que

originou um aumento dos preços de produção de hidrogénio em maior valor do que o aumento do preço da eletricidade; a utilidade dos VE de forma imediata, tendo em conta a existência de redes elétricas atuais; e por fim a teoria de especulação surgida sobre a incapacidade de o hidrogénio ser capaz de superar as expectativas iniciais. Este estudo teve por base os custos associados a cada tipo de veículo, impostos, custo de bateria e células de combustível, o que em VE e veículos movidos a hidrogénio, respetivamente, são as principais componentes. Representam, assim, um custo global elevado comparando com os custos do VC devido ao seu tempo de vida útil que é menor que o tempo de vida útil do veículo onde estão instaladas, tendo que ser substituídas periodicamente. Neste estudo, usa-se o pressuposto da redução em 10% do preço de baterias relativamente aos VE em 2040, que significaria cerca de 119€/KWh, o que levaria a uma taxa de penetração estimada em cerca de 50% destes veículos no mercado até 2050, e único modo de transporte a partir da segunda metade do século.

Uma das dificuldades enunciadas por Rosler *et al.* (2014) no que toca às baterias de VE é a sua autonomia, sendo que considerou baterias com capacidade de 36KWh para um veículo com autonomia de 200 km; isto torna-se num entrave, pois assim os VE não são capazes de dominar o setor dos transportes, dada a grande procura de viagens de longa distância; nelas o consumidor não está disposto a trocar de bateria ao longo da viagem nem efetuar o seu carregamento que, como já se referiu anteriormente, ainda é moroso. Uma solução proposta pelos autores, é a utilização de VEPH que combina a capacidade da bateria carregada por energia elétrica e motor a gasolina/gasóleo, que se torna benéfico em viagens de maior distância.

Rosler *et al.* (2014) acreditam que as metas de diminuição de emissões de CO₂ tenham que ser mais ambiciosas do que aquelas referidas pela AEA, acreditando que esta redução tenha que atingir 90% até ao ano de 2080 não podendo existir discrepâncias, e é neste contexto que os VE tomam um papel fundamental e ganham algum poder de difusão na segunda metade do século.

Como conclusão do estudo apresentado por Rosler *et al.* (2014), podemos afirmar que tanto o hidrogénio como a eletricidade são alternativas viáveis, dependendo do critério de futuro a utilizar. O hidrogénio torna-se bastante viável caso as metas impostas para o clima sejam ambiciosas e as reservas de petróleo e gás natural sejam limitadas. Relativamente à eletricidade, torna-se relevante se forem tidos em conta três requisitos; os custos de bateria reduzirem substancialmente, enquanto os custos de células de combustível (usadas na tecnologia do hidrogénio) não reduzirem tão rapidamente como esperado e por fim, se as metas rigorosas no que diz respeito aos impactes ambientais sejam ainda mais ambiciosas do que as consideradas neste estudo. Espera-se assim, perante este cenário, que estes dois tipos de veículos venham a coexistir tendo em conta a distância de viagem pretendida pelo utilizado, utilizando o VE para distâncias curtas, e o veículo a hidrogénio para longos percursos.

Aguirre *et al.* (2012) também efetuaram um estudo comparando alguns aspetos do ciclo de vida de um VE e um veículo convencional. Nesta comparação foram analisadas algumas hipóteses como o consumo de energia necessária, o custo aproximado global e a emissão de CO₂. Foi possível chegar a algumas conclusões, como se pode verificar através da figura 3.11, onde são comparados os consumos energéticos entre um VC, um VEB e um VEH.

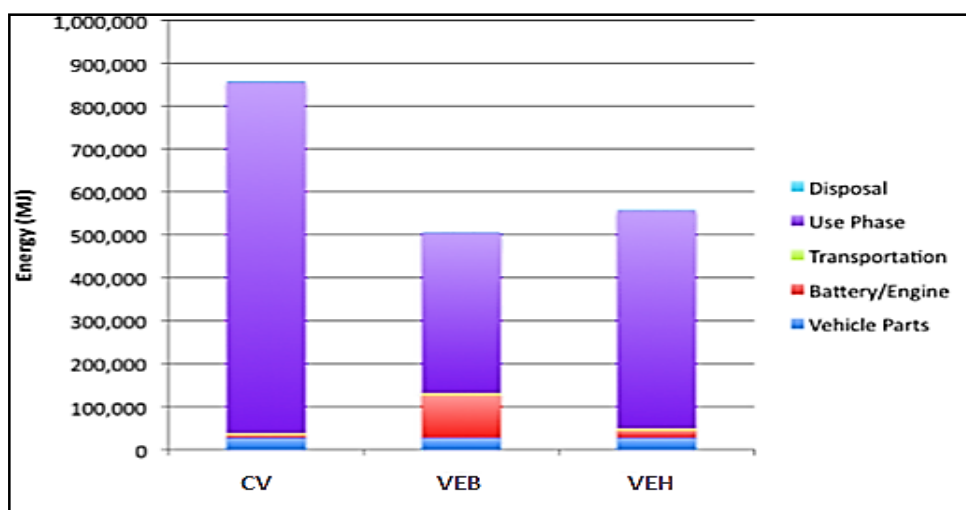


Figura 3.11– Comparação de consumos energéticos durante o ciclo de vida
(Adaptado de Aguirre *et al.*, 2012)

Como se pode verificar, o VC é aquele que requer mais energia durante o ciclo de vida (858,145 MJ), o que muito se deve à energia necessária para extrair e processar a gasolina; de seguida o híbrido necessita de 564,251 MJ, e por fim o VEB com 506,988 MJ.

Referente à quantidade de CO₂ equivalente emitida para a atmosfera, pode chegar-se também a algumas conclusões bastante visíveis durante as diversas fases do ciclo de vida de um veículo através da figura 3.12.

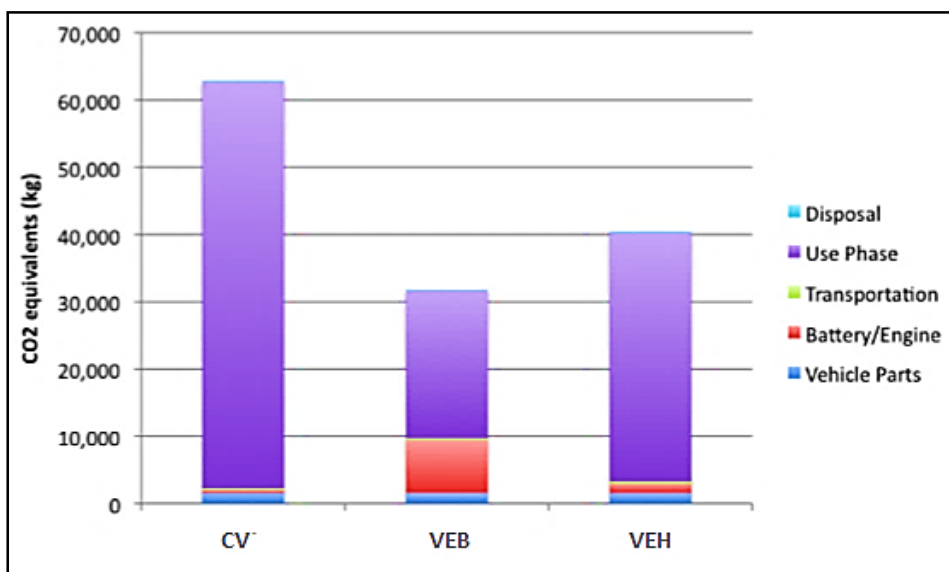


Figura 3.12– Comparação de CO₂ equivalente durante o ciclo de vida
(Adaptado de Aguirre *et al.*, 2012)

Como se pode verificar, o VC torna-se novamente o menos atraente no que toca às emissões de CO₂ comparativamente aos restantes veículos. O VC durante o seu ciclo de vida produz em média 62,866 kg, de seguida o veículo híbrido produz à volta de 40,773 kg e por fim o VEB produz 31,821 kg. Também nesta comparação o VEB mostra-se preferencial a nível de impactes ambientais.

No cálculo dos custos durante o ciclo de vida do veículo foram admitidos nesse estudo um período de vida de 15 anos e 290 mil km. É visível através da figura 3.13 a discrepância que existe entre os três veículos aqui analisados relativamente ao seu custo inicial e custo durante a vida útil.

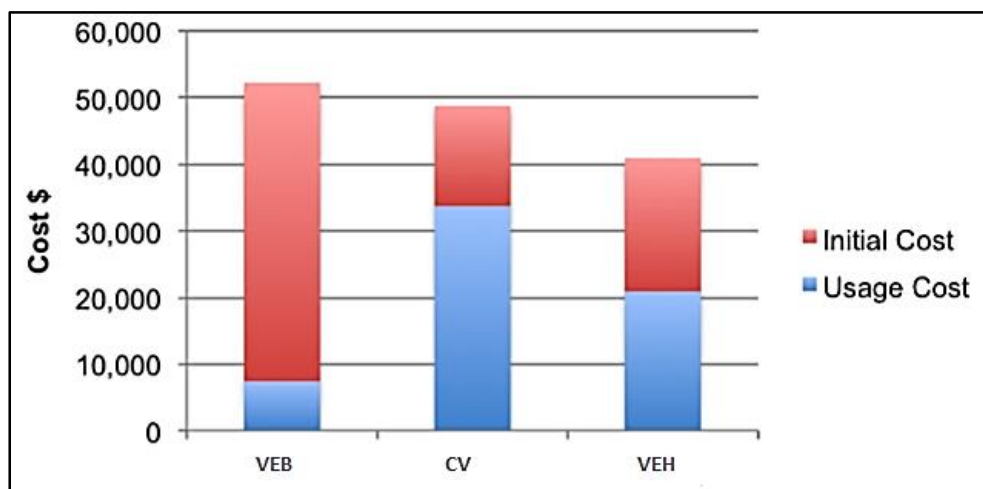


Figura 3.13– Comparação entre custos globais aproximados (US \$)

(Adaptado de Aguirre *et al.*, 2012)

Podemos verificar então que, em termos de custos o VEH se torna preferido, e menos atrativo o VEB, isto porque este último tem o contra da colocação obrigatória do carregador na residência do consumidor, para além de que a bateria tem que ser substituída durante a vida útil do veículo o que o torna mais dispendioso no seu global.

Através destas comparações entre os três tipos de veículos, Aguirre *et al.* (2012) chegaram à conclusão que um VEB é energeticamente mais eficiente e menos poluente que um VC.

Al-Alwai *et al.* (2013) levando em conta alguma bibliografia já existente, incidiram o seu estudo comparativo apenas à gama de VE, comparando o VEH, VEHP e VEB, tentando assim entender qual a taxa de crescimento no mercado automóvel consoante a avaliação seja do consumidor, de agentes ligados à produção (engenheiros, economistas, gestores) ou seja através de propagação no tempo nos EUA.

Através deste estudo, baseado em agentes, chega-se à conclusão que as isenções de impostos e subsídios por parte do governo sobre um VEHP estimula em grande escala a sua penetração no mercado, estimando Al-Alwai *et al.* (2013) que o crescimento de vendas deste tipo de veículos pode chegar aos 5% em 2020 e aos 24% em 2040; um dos incentivos também causadores do aumento de vendas foca-se no aumento do custo dos combustíveis fósseis, que poderá provocar um aumento de 8% em 2040 na venda de VEHP nos EUA. Baseado na escolha do consumidor, este estudo revela também a preferência de VEHP atingindo uma cota de 18% no mercado até ao ano de 2020. No que toca à comparação entre estes veículos tendo em conta a evolução no tempo, os autores não chegam à conclusão de nenhuma preferência a longo prazo, existindo apenas uma tendência entre os VEB e VEHP.

Como se pode verificar através destes estudos comparativos entre os diversos veículos, tendo em conta aspetos mais relevantes para o consumidor e para a redução do impacto ambiental, nenhum dos autores chegou à conclusão sobre o veículo que irá dominar o mercado a longo prazo, pois existem diversas variáveis que poderão influenciar o caminho a seguir pelos fabricantes, ou seja, o rumo do mundo automóvel.

3.6 O Futuro dos Combustíveis

Como já se referiu, tem que se caminhar para um futuro onde seja possível a redução dos GEE e com isso promover a sustentabilidade no setor dos transportes, reduzindo o aquecimento global.

Segundo o departamento de energia dos EUA (ENERGY.GOV@2015), o veículo a hidrogénio e veículos elétricos híbridos plug-in iram dominar o futuro no que toca à tecnologia de propulsão no modo rodoviário, havendo no entanto espaço para o uso de outras tecnologias de propulsão, mas com o intuito de reduzir drasticamente e rapidamente o uso de combustíveis fósseis, como é visível na figura 3.14.

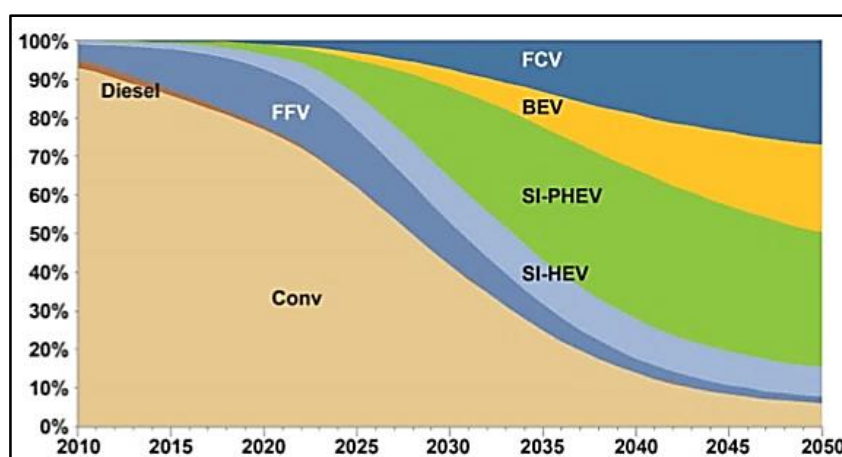


Figura 3.14– Cenário previsível para o setor dos transportes no ano 2050 (ENERGY.GOV@ 2015)

De acordo com as previsões de ENERGY.GOV@ , o VEHP tem a maior taxa de penetração com 35%, o hidrogénio com 27%, de seguida o VEB com 22%, o VEH com 8% e os veículos a gasolina/gasóleo com 8%. De acordo com esta previsão, é possível chegar-se a uma redução de 80 a 90% de redução de CO₂ em 2050 (figura 3.15).

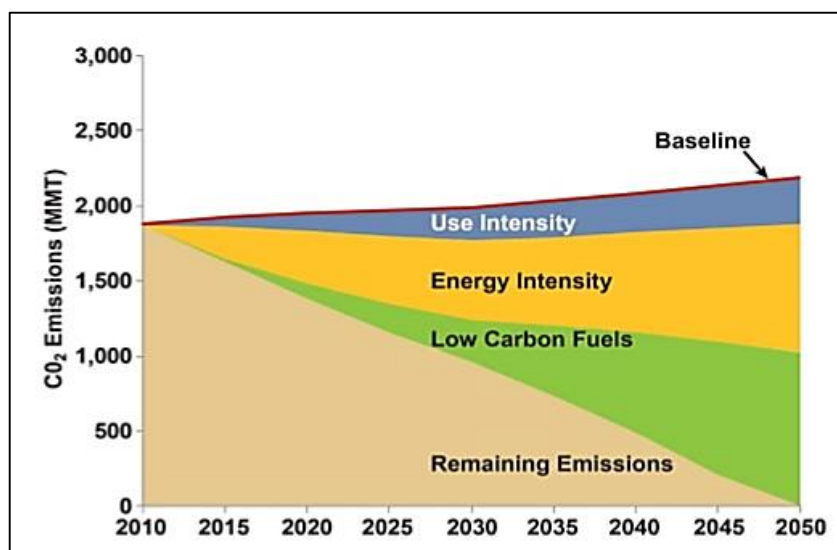
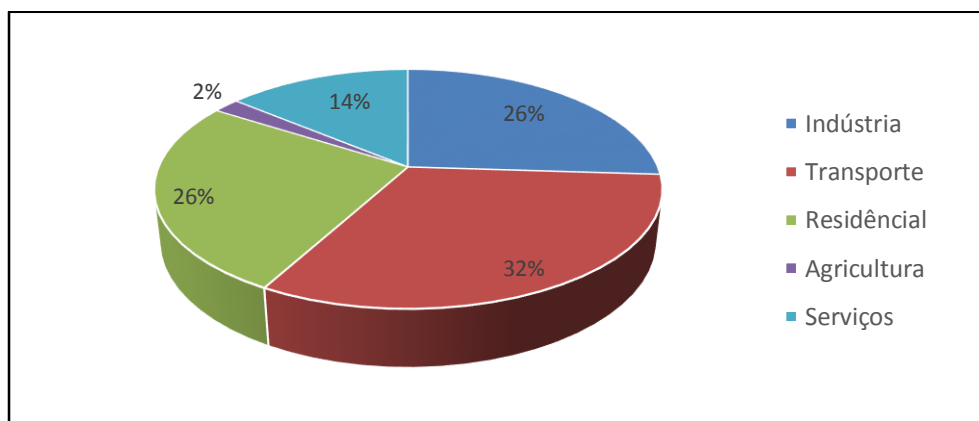


Figura 3.15– Redução das emissões de GEE esperadas para o ano 2050 (ENERGY.GOV@2015)

Não só no mundo dos transportes, mas nos restantes setores consumidores de energia é necessário que haja uma mudança das necessidades, aceitando e desenvolvendo assim alternativas sustentáveis.

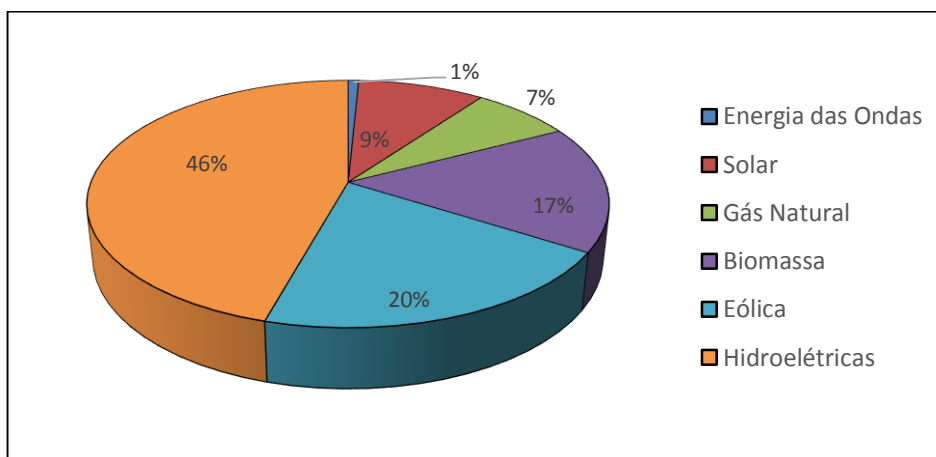
O consumo de energia, como é representado na figura 3.16, é maioritariamente efetuado pelo setor dos transportes, residencial e indústria. Sendo que muito deste consumo é dependente do petróleo, como foi esquematizado na figura 2.3 do capítulo 2, por isso mesmo é necessário que haja uma mudança da principal fonte de energia a utilizar.



Fonte de dados: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/final-energy-consumption-by-sector-8/assessment-2>

Figura 3.16 – Consumo de energia por setor em 2012 (%)

Devido a esta necessidade de mudança relativo à fonte de energia primária, o cenário considerado perfeito para o ano 2050 sugerido pelo Eng. Eletrotécnico Matheus Castro é o representado na figura 3.17.



Fonte de dados: <https://fomatheus.files.wordpress.com> (Consultado em Abril 2015)

Figura 3.17– Cenário da revolução energética 2050 (%)

Para tal seria necessária uma mudança bastante drástica na mentalidade do ser humano, nas políticas e fiscalidade dos países, e nos fabricantes dos veículos para que o setor dos transportes não fosse um dos principais responsáveis pelas alterações climáticas que já se começam a sentir em todo o mundo devido ao aquecimento global provocado pela emissão de GEE.

Os mais altos responsáveis pelas políticas implementadas a nível mundial têm tentado contribuir para alcançar metas propostas. Mas não é só necessário impor as metas, é premente que haja uma fiscalização mais rigorosa no cumprimento destas para que se possam alcançar os objetivos propostos para o ano de 2050 e para o futuro a curto prazo.

Em resumo, no que diz respeito ao setor dos transportes, ainda existe bastante controvérsia sobre qual a tecnologia de propulsão preferencial do consumidor, e qual é a mais limpa relativamente aos combustíveis fósseis muito utilizados nos dias de hoje. Alguns estudiosos neste assunto revelam aspetos positivos na gama elétrica, outros vêm o hidrogénio como o futuro, e ainda existem alguns autores que defendem e realizam estudos que mostram os biocombustíveis como alternativa a desenvolver.

A escolha do modo de propulsão de futuro terá que satisfazer as necessidades do consumidor num conjunto de aspetos. Mas o futuro no setor dos transportes dependerá das decisões que se

tomem. Os representantes dos países também têm uma responsabilidade acrescida criando condições visando um objetivo, que no caso do presente trabalho, é a sustentabilidade no setor dos transportes.

4. SUSTENTABILIDADE AUTOMÓVEL – METODOLOGIA DE ESTUDO

Exposto que foi, em traços gerais, o panorama do transporte automóvel, é agora objetivo deste estudo verificar se as alternativas que a indústria desenvolveu, no sentido de transformar a mobilidade automóvel mais sustentável, são plausíveis de atrair os consumidores para escolhas energeticamente mais eficientes e menos poluentes.

Iremos focar o nosso estudo num conjunto de veículos de diversas tecnologias de propulsão recentes, disponíveis para compra imediata no mercado português. Por forma a prever a preferência de escolha do consumidor, iremos identificar critérios objetivos que certamente influenciarão essa escolha, atribuir-lhes uma importância e a partir daí, e das características dos veículos, obter, por via de uma análise multicritério, um *ranking* de potenciais preferências de compra. Por fim uma análise estatística determinará se as flutuações neste *ranking* são ou não significativas.

A intenção acima descrita seguirá então a seguinte metodologia:

- Escolha de critérios sobre os quais as viaturas irão ser avaliadas, e recolha de dados técnicos de um conjunto de modelos de automóveis, disponíveis no mercado português e que usem novas tecnologias de propulsão;
- Elaboração e execução de uma análise multicritério em dois níveis; um primeiro nível onde se irá determinar os pesos a atribuir a cada critério, e um segundo nível onde se irá obter um ranking dos veículos, de acordo com os pesos anteriormente determinados e aplicando metodologias científicas de natureza multicritério específicas para ordenamento das alternativas;
- Realização de uma análise estatística para validação de eventuais diferenças entre as tecnologias em estudo.

Escolha de Critérios e Recolha de Dados

Os critérios escolhidos têm em conta alguns fatores que normalmente não são considerados na escolha de veículos convencionais, mas que se tornam importantes quando se consideram novas tecnologias de propulsão. Deixa-se de lado deste estudo aspetos subjetivos que, apesar de

reconhecidamente influírem na escolha, não afetam a eficiência e usabilidade do veículo, tais como a estética ou imagem de marca (que aliás dependem muito da pessoa). Quatro critérios principais foram escolhidos, sendo eles o custo, tempo de reabastecimento, autonomia e desempenho. Dois outros critérios acessórios serão também considerados: o conforto e as emissões de CO₂. Apesar de poderem não ser estritamente essenciais na ótica de alguns consumidores, poderão ter influência na escolha destes.

A recolha de dados tecnológicos dos veículos será efetuada através de catálogos existentes disponíveis para consulta de variadas marcas automóveis; estes veículos foram escolhidos tendo em conta a gama elétrica e GPL existente no mercado. Ir-se-á também recolher dados referentes a veículos convencionais para se proceder à evidentemente necessária comparação com o *status-quo* da indústria. Para facilidade de comparação, os veículos convencionais escolhidos foram, quase todos, os mesmos modelos que outros com tecnologia de propulsão alternativa.

Dividiremos o nosso estudo em quatro casos diferentes, tendo em conta o uso atribuído ao veículo e o número de critérios. Assim, será efetuada a divisão consoante o veículo seja destinado a uso geral ou uso específico cidadão, pois estas são, no nosso entender, as duas principais utilizações correntes. Para além desta divisão, haverá uma segunda, que terá em conta diferentes números de critérios a utilizar na análise. Num dos casos utilizar-se-á apenas os quatro critérios principais identificados acima (custo, tempo de reabastecimento, autonomia e desempenho), e no outro serão considerados todos os seis critérios (adicionando o conforto e as emissões de CO₂). As combinações entre critérios e tipos de utilização, descritas acima, estão resumidas no quadro 4.1, consoante as correspondências a utilizar em cada caso de estudo.

Quadro 4.1– Correspondências de cada caso de estudo

	Uso	Critérios					
		Custo	Tempo de Reabastecimento	Autonomia	Desempenho	Conforto	Emissões
Caso 1	Geral	x	x	x	x		
Caso 2	Geral	x	x	x	x	x	x
Caso 3	Específico	x	x	x	x		
Caso 4	Específico	x	x	x	x	x	x

Os critérios custo e desempenho são compostos, ou seja, o seu valor final é o resultado de uma soma de parcelas. Relativamente ao custo, este é composto pelas parcelas custo de aquisição, custo de manutenção, custo de exploração e fiscalidade. O desempenho leva em conta a potência do veículo e o tempo de aceleração do 0 aos 100 km/h.

O custo de manutenção irá ter em conta a fonte de energia utilizada e os custos referentes a este fator como revisões periódicas, aluguer de baterias no caso de VE, admitindo que um veículo para uso específico percorre 150 000 km em 10 anos, e um veículo para uso geral percorre 300 000 km em 10 anos. O custo de exploração terá em conta a quantidade de combustível

consumido e o preço deste durante a vida útil do veículo, admitindo preços constantes de 2016. A fiscalidade terá em conta a forma de tecnologia de propulsão utilizada, bem como os incentivos fiscais aplicados a combustíveis energeticamente verdes durante o período de vida útil do veículo. Assim, o valor do custo (critério) irá ser dado pela soma dos diversos custos que o compõem.

Relativamente ao desempenho, o seu valor final é traduzido numa escala 0–1 cujos valores são obtidos após normalização de razão (Coutinho-Rodrigues, 2012) dos subcritérios potência e aceleração (de modo a que cada um deles tome valores entre 0 e 1), após o que estes serão multiplicados por um peso que varia conforme o caso de estudo. Assim, para uso específico citadino é dado um peso de 30% para a potência e de 70% para a aceleração, a maior importância da aceleração deve-se ao facto de esta contribuir para uma maior agilidade do veículo, sendo a característica mais importante para a circulação em cidade. Já para uso geral, foi dado um peso de 60% para a potência e de 40% para aceleração, pois neste caso torna-se mais importante a velocidade máxima do veículo, e esta é proporcional à potência.

Quanto ao critério de autonomia não se terá em consideração os valores tabelados nos catálogos, mas sim valores reais, tendo em conta a informação a este respeito através do *site* www.Spritmonitor.de (valores recuperados a 15 de Janeiro de 2016). No geral, os valores reais são ligeiramente superiores aos tabelados, sendo que este acréscimo irá também ser refletido percentualmente nas emissões de CO₂ tabeladas que usaremos no estudo.

No que toca ao critério conforto, este irá ser classificado segundo uma escala discreta de 1 a 5, segundo o julgamento do autor, tendo em conta fatores como espaço interior e espaço de bagageira. Por fim, o critério tempo de reabastecimento, irá ser assumido o mesmo valor de referência para veículo convencional, híbrido e plug-in (10 minutos), um outro valor de referência para veículos movidos a GPL (20 minutos), e para os veículos elétricos foram considerandos os valores de recarga tabelados em catálogo assumindo uma alimentação para 16 A.

Análise Multicritério – Fase 1

O método multicritério de ordenamento, a utilizar na fase 2, requer que se atribuam pesos aos diferentes critérios. Os pesos são parâmetros que refletem a importância relativa dos critérios. Embora estes pesos possam ser definidos pelo utilizador, existe um processo para os obter – método AHP – que permite, com base em julgamentos muito simples de importância relativa entre critérios, obter uma gama final de pesos consistente. Este é um procedimento comum em análise multicritério e será a nossa fase 1 desta análise. Mais detalhes sobre a aplicação do método AHP podem ser encontrados em Kreation@ (2016a)

O método AHP inicia-se com a determinação de uma matriz W , cujas entradas se referem a $\frac{n(n-1)}{2}$ comparações entre critérios, em que n é o número de critérios. Cada uma destas comparações reflete o quão mais importante o avaliador julga que um critério é em relação ao outro, usando a escala de 1 a 9 de Saaty. Esta é uma escala numérica tomando os valores entre 1 a 9, em que 1 traduz “ambos os critérios são de igual importância”, 3 significa “um critério é moderadamente mais importante que o outro”, 5 “um critério é fortemente mais importante que o outro”, 7 “um critério é fortemente muito mais importante que o outro”, e 9 “um critério é extremamente mais importante que o outro”, e os restantes valores da escala (2, 4, 6 e 8) representam importâncias intermediárias entre as opiniões adjacentes (adaptado de Saaty, 2008).

Tendo em conta a escala de Saaty, procede-se ao preenchimento da matriz W que toma a forma genérica:

$$W = \begin{bmatrix} 1 & w_{12} & \dots & w_{1n} \\ \frac{1}{w_{21}} & 1 & \dots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{1}{w_{n1}} & \frac{1}{w_{n2}} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

onde,

$$w_{ij} > 0 \Rightarrow \text{Matriz positiva definida} \quad (1)$$

$$\forall_{ij}: w_{ij} \geq 1 \Rightarrow w_{ij} \in \{1, 2, \dots, 9\} \quad (2)$$

$$w_{ij} = \frac{1}{w_{ji}} \Rightarrow \text{Matriz recíproca} \quad (3)$$

Após a obtenção da matriz W , é necessário verificar se a matriz de julgamentos é consistente. Esta verificação é necessária porque a mente humana tem dificuldade em julgar de uma forma coerente importâncias relativas quando há muitos critérios em jogo. Esta verificação faz-se através do cálculo do rácio de consistência, como irá ser descrito e está definido no AHP.

Para a verificação de consistência há primeiro que calcular λ_{max} , o valor próprio principal da matriz W (maior dos valores próprios reais). Com este valor próprio pode-se calcular de seguida o dito índice de consistência, que é dado por:

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)} \quad (4)$$

e com este por fim o rácio de consistência:

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (5)$$

em que IR são valores fixos para cada número de critérios existentes no problema indicado no quadro 4.2.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I.R.	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45

Quadro 4.2 – Valores de IR

O cálculo de RC dir-nos-á se a matriz é ou não consistente. Se RC for inferior a 0.1, há consistência. Caso contrário é necessário proceder a ajustes na matriz de julgamentos, até que RC fique inferior a 0.1.

A partir de uma matriz W consistente, pode-se finalmente determinar os pesos dos critérios, que não são senão as componentes do vetor próprio principal normalizado à unidade.

Análise Multicritério – Fase 2

Obtidos os pesos na fase anterior, estes serão usados na segunda fase da análise multicritério, onde irá ser aplicado o método multicritério TOPSIS (Coutinho-Rodrigues, 2012), que ordenará os veículos de acordo com os pesos de cada critério e valores destes critérios para cada veículo.

O método TOPSIS é uma abordagem multicritério baseada em pontos de referência, pontos esses que não correspondem a alternativas reais. Este método permite a criação de uma solução de referência A+ designada por solução ideal, e uma solução A- designada por solução anti-ideal. A solução ideal contém os melhores valores correspondentes a cada critério, enquanto a solução anti-ideal contém os piores valores. O TOPSIS permite a escolha da alternativa que tenha a distância euclidiana mais curta à solução ideal e a maior distância euclidiana à solução anti-ideal.

Para se aplicar o método TOPSIS é necessário cumprir os seguintes passos:

1º Passo – Normalização da matriz de decisão. Uma vez que os vários critérios estão expressos em unidades diferentes, é necessário proceder a uma normalização por forma a tornar todos os valores adimensionais e assim se conseguir realizar operações algébricas sobre eles. Nesta dissertação será utilizada a normalização da razão das diferenças.

2º Passo – Cálculo da matriz de decisão pesada e normalizada (V), sendo esta obtida através de uma normalização prévia da matriz de decisão (R), seguida da multiplicação de todos os elementos de cada coluna j da matriz pelo respetivo peso w_j , obtido através do método AHP já descrito.

$$V = R \times W \quad (6)$$

3º Passo – Determinação das soluções ideal e anti-ideal, tendo em conta que critérios de custo têm um subconjunto J' , e os critérios de benefício um subconjunto J , a solução ideal é dada por:

$$A^+ = \{(\max v_{ij} \mid j \in J), (\min v_{ij} \mid j \in J') \mid i = 1, 2, \dots, m\} = (v_1^+, v_2^+, \dots, v_j^+, \dots, v_n^+) \quad (7)$$

A solução anti-ideal é dada por:

$$A^- = \{(\min v_{ij} \mid j \in J), (\max v_{ij} \mid j \in J') \mid i = 1, 2, \dots, m\} = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-) \quad (8)$$

Sendo os valores v_j^+ e v_j^- correspondentes aos valores máximos ou mínimos da matriz V (pesada e normalizada) caso seja critério de benefício, e valores mínimos ou máximos caso seja critério de custo ou benefício, respetivamente.

4º Passo – Cálculo da distância Euclidiana à solução ideal (S_i^+) e anti ideal S_i^- :

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

5º Passo – Proximidade relativa à solução ideal (T_i), em que quanto mais próximo estiver A_i de A^+ , tanto mais próximo é o valor de T_i da unidade;

$$T_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, \quad 0 < T_i < 1 \quad (11)$$

Se $T_i = 1$ então $A_i = A^+$ e se $T_i = 0$ então $A_i = A^-$.

6º Passo – Ordenação por ordem decrescente dos valores de T_i , que corresponde à ordem de preferência.

Análise Estatística

Com o intuito de se verificar se a ordem de preferências resultante do TOPSIS está relacionada com a tecnologia usada, irá ser realizada uma análise estatística sobre os resultados obtidos através do método TOPSIS recorrendo à técnica da análise de variância (ANOVA), para esta análise irá utilizar-se o *software* estatístico R.

5. ESTUDO COMPARATIVO DA TECNOLOGIA DE PROPULSÃO DISPONÍVEL NO MERCADO PORTUGUÊS

5.1 Recolha de Dados

Apresentada a metodologia, iremos proceder ao estudo comparativo entre os veículos utilizados. Escolhidos os modelos de veículos e recolhidos os dados necessários procedeu-se ao cálculo dos valores dos critérios compostos, chegando-se assim aos valores apresentados no quadro 5.1, para o caso em que o veículo é para uso geral.

Quadro 5.1– Resumo dos valores das características dos veículos (correspondente a uso geral)

Tipo	Marca	Modelo	Custo (€)	Desempenho	Temp. Reabastecimento (h)	Emissões (Kg/Km)	Autonomia (Km)	Conforto
Elétrico	Volkswagen	e-up	41052	0,393	5,31	0	160	1
	Mitsubishi	Miev	40863	0,405	4,55	0	100	1
	Renault	Twizy	20821	0,220	1,73	0	97	1
	Renault	ZOE	37644	0,309	6,25	0	151	2
	BMW	i3	53757	0,396	5,34	0	146	3
	Volkswagen	e-Golf	63297	0,424	6,88	0	191	3
	Nissan	Leaf	42203	0,441	6,82	0	150	4
	Mercedes	Classe B	70035	0,394	7,95	0	169	3
Convencional	Volkswagen	up 1.0 75cv	22629	0,372	0,167	72,3	928	1
	Toyota	YarisActive	26434	0,337	0,167	52,1	687	2
	Volkswagen	Golf	51902	0,292	0,167	82,0	636	3
	Nissan	Pulsar	39623	0,386	0,167	83,1	653	3
	Opel	Insignia	53142	0,396	0,167	62,1	661	4
	Mercedes	Classe B	57966	0,358	0,167	94,8	683	3
	Audi	A3 Sportback	61759	0,451	0,167	62,5	653	5
	Toyota	Auris Active	36617	0,401	0,167	42,4	746	3
	Toyota	Auris Touring	39205	0,422	0,167	63,2	758	5
Elétrico Híbrido	Toyota	Yaris Active	38631	0,365	0,167	51,3	745	2
	Opel	Ampera	74558	0,407	0,167	47,2	590	4
	Toyota	Auris Active	58316	0,471	0,167	56,3	859	3
	Toyota	Auris Touring	59888	0,319	0,167	61,2	830	5
Elétrico Híbrido Plug-in	Volkswagen	Golf GTE	72943	0,455	0,167	40,8	983	3
	Audi	A3 Sportback e-tron	69861	0,300	0,167	53,3	1356	5
	Toyota	Prius Exclusive	68844	0,417	0,167	35,5	870	4
GPL	Fiat	Punto	29625	0,426	0,333	47,0	543	2
	Dacia	Sandero	23564	0,483	0,333	24,8	397	2

5.2 Análise Multicritério – Fase 1

Nesta primeira fase procede-se à aplicação do método AHP. Nos quadros 5.2 a 5.5 apresentam-se as matrizes de julgamentos para os quatro casos de estudo utilizados, nomeadamente: uso geral/4 critérios; uso geral/6 critérios; uso específico/4 critérios; uso específico/6 critérios.

Quadro 5.2– Matriz de preferências para o Caso 1 (Uso Geral/4 Critérios)

	Custo	Tempo de Reabastecimento	Autonomia	Desempenho
Custo	1	4	2	1
Tempo de Reabastecimento	1/4	1	1/3	1/4
Autonomia	1/2	3	1	1/2
Desempenho	1	4	2	1

Quadro 5.3– Matriz de preferências para o Caso 2 (Uso Geral/6 Critérios)

	Custo	Tempo de Reabastecimento	Autonomia	Desempenho	Conforto	Emissões
Custo	1	5	2	2	1	2
Tempo de Reabastecimento	1/5	1	1/6	1/4	1/6	1
Autonomia	1/2	6	1	3	1	3
Desempenho	1/2	4	1/3	1	1	2
Conforto	1	6	1	1	1	3
Emissões	1/2	1	1/3	1/2	1/3	1

Quadro 5.4– Matriz de preferências para o Caso 3 (Uso Específico/4 Critérios)

	Custo	Tempo de Reabastecimento	Autonomia	Desempenho
Custo	1	3	2	1/2
Tempo de Reabastecimento	1/3	1	1/2	1/5
Autonomia	1/2	2	1	1/3
Desempenho	2	5	3	1

Quadro 5.5– Matriz de preferências para o Caso 4 (Uso Específico/6 Critérios)

	Custo	Tempo de Reabastecimento	Autonomia	Desempenho	Conforto	Emissões
Custo	1	3	2	1/2	1	1/2
Tempo de Reabastecimento	1/3	1	1/2	1/5	1/2	1/5
Autonomia	1/2	2	1	1/3	2	1/3
Desempenho	2	5	3	1	3	1/2
Conforto	1	2	1/2	1/3	1	1/4
Emissões	2	5	3	2	4	1

As quatro matrizes acima indicadas verificam os RC necessários e serão referidas genericamente por “juízo 1”, por razões que esclareceremos a seu tempo. Estas matrizes deram origem, após o cálculo do vetor próprio principal normalizado, ao conjunto de pesos do quadro 5.6.

Quadro 5.6– Pesos correspondentes a cada critério

		Custo	Tempo de Reabastecimento	Autonomia	Desempenho	Conforto	Emissões
Juízo 1	Caso 1	0,358902	0,081913	0,200284	0,358902		
	Caso 2	0,258068	0,047441	0,243703	0,149322	0,223215	0,078250
	Caso 3	0,271798	0,088287	0,157508	0,482407		
	Caso 4	0,190484	0,065100	0,157370	0,369331	0,124457	0,434818

5.3 Análise Multicritério – Fase 2

Para a aplicação do método TOPSIS foi utilizado o *software web* Matrix (Kreation@2016b), este efetua o cálculo automático dos passos descritos no capítulo 4 desta dissertação. Este *software web* para além de permitir a utilização do método utilizado nesta dissertação, permite também utilizar outros como a família do método ELECTRE, AHP e VIKOR; para além de permitir a inserção dos parâmetros necessários a cada método. Os resultados dos métodos deste *software web* surgem através de gráficos e de forma alfanumérica.

Foram inseridas no *software web* duas matrizes de decisão, (quadros 5.7 e 5.8) correspondentes aos casos de uso geral e específico (que diferem apenas no índice de desempenho) e corrido o método TOPSIS com quatro e seis critérios para cada uma das matrizes, totalizando os quatro casos de estudo mencionados no capítulo 4 (para quatro critérios apenas basta desseleccionar os critérios relevantes no MATRIX e ajustar os pesos em conformidade com o quadro de pesos 5.6). É necessário indicar no *software web* quais os critérios que se pretende maximizar (critérios de benefício) e os critérios a minimizar (critérios de custo), sendo que os critérios de benefício neste caso de estudo são autonomia, desempenho e conforto; os critérios de custo são as emissões CO₂, tempo de reabastecimento e custo.

Quadro 5.7– Matriz de decisão para os Casos 1 e 2

Tipo	Veículo	Custo	Tempo de Reabastecimento	Autonomia	Desempenho	Conforto	Emissões
Convencional	VW Golf	51902	0,167	636	0,393	3	82,0
Convencional	Nissan Pulsar	39623	0,167	653	0,405	3	83,1
Convencional	Opel Insignia	53142	0,167	661	0,220	4	62,1
Convencional	Mercedes Classe B	57966	0,167	683	0,309	3	94,8
Convencional	Audi A3 Sportback	61759	0,167	653	0,396	5	62,5
Convencional	Toyota Auris	36617	0,167	746	0,424	3	42,4
Convencional	Toyota Auris Touring Sport	39205	0,167	758	0,441	5	63,2
Elétrico	VW e-golf	63297	0,598	191	0,394	3	0
Elétrico	Nissan Leaf	42203	0,514	150	0,372	4	0
Elétrico	Mercedes Classe B Eletric	70035	0,593	169	0,337	3	0
Híbrido	Opel Ampera	74558	0,167	590	0,292	4	47,2
Híbrido	Toyota Auris Hybrid	58316	0,167	859	0,386	3	56,3
Híbrido	Toyota Auris Touring Sport Hybrid	59888	0,167	830	0,396	5	61,2
Plug-in	VW Golf GTE	72943	0,167	983	0,358	3	40,8
Plug-in	A3 Sportback e-tron	69861	0,167	1356	0,451	5	53,3
Plug-in	Toyota Prius Exclusive	68844	0,167	870	0,401	4	35,5
Convencional	VW up	22629	0,167	928	0,422	1	72,3
Convencional	Toyota Yaris	26434	0,167	687	0,365	2	52,1
Elétrico	VW e-up	41052	5,313	160	0,407	1	0
Elétrico	Mitsubishi Miev	40863	4,545	100	0,471	1	0
Elétrico	Renalt Twizy	20821	1,733	97	0,319	1	0
Elétrico	Renault ZOE	37644	6,250	151	0,455	2	0
Elétrico	BMW i3	53757	5,341	146	0,300	3	0
Híbrido	Toyota Yaris Hybrid	38631	0,167	745	0,417	2	51,3
GPL	Fiat Punto Bi-fuel	29625	0,333	543	0,426	2	47,0
GPL	Dacia Sandero Bi-fuel	23564	0,333	397	0,483	2	24,8

Através da figura 5.1 é apresentado o *output* ilustrativo, retirado do *software web*, fornecido pelo método TOPSIS para o Caso 2.

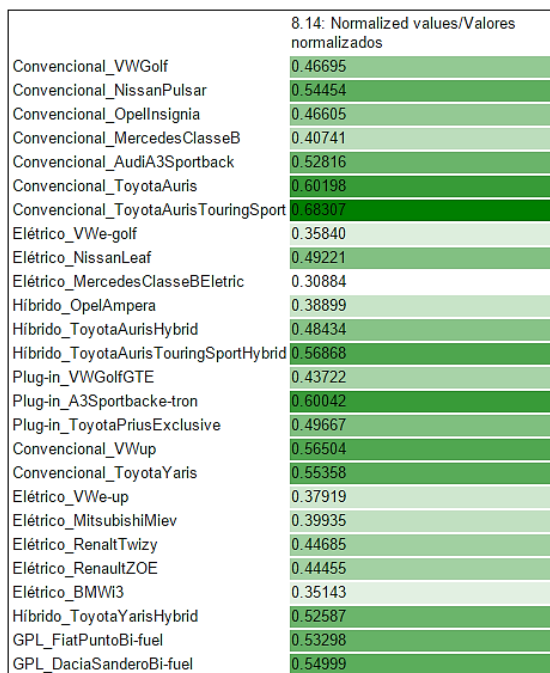


Figura 5.1– *Output* do *software web* Matrix do ranking calculado através do método TOPSIS

No quadro 5.8 encontra-se a matriz de decisão que foi inserida no *software web* referente aos Caso 3 e 4, lembrando que neste caso de estudo que o veículo se destina a uso específico em cidade.

Quadro 5.8 - Matriz de decisão para os Casos 3 e 4

Tipo	Veículo	Custo	Tempo de Reabastecimento	Autonomia	Desempenho	Conforto	Emissões
Convencional	VW Golf	51902	0,167	636	0,466	3	82,0
Convencional	Nissan Pulsar	39623	0,167	653	0,476	3	83,1
Convencional	Opel Insignia	53142	0,167	661	0,180	4	62,1
Convencional	Mercedes Classe B	57966	0,167	683	0,363	3	94,8
Convencional	Audi A3 Sportback	61759	0,167	653	0,320	5	62,5
Convencional	Toyota Auris	36617	0,167	746	0,564	3	42,4
Convencional	Toyota Auris Touring Sport	39205	0,167	758	0,595	5	63,2
Elétrico	VW e-golf	63297	0,598	191	0,458	3	0
Elétrico	Nissan Leaf	42203	0,514	150	0,495	4	0
Elétrico	Mercedes Classe B Electric	70035	0,593	169	0,321	3	0
Híbrido	Opel Ampera	74558	0,167	590	0,346	4	47,2
Híbrido	Toyota Auris Hybrid	58316	0,167	859	0,475	3	56,3
Híbrido	Toyota Auris Touring Sport Hybrid	59888	0,167	830	0,494	5	61,2
Plug-in	VW Golf GTE	72943	0,167	983	0,318	3	40,8
Plug-in	A3 Sportback e-tron	69861	0,167	1356	0,365	5	53,3
Plug-in	Toyota Prius Exclusive	68844	0,167	870	0,505	4	35,5
Convencional	VW up	22629	0,167	928	0,594	1	72,3
Convencional	Toyota Yaris	26434	0,167	687	0,461	2	52,1
Elétrico	VW e-up	41052	5,313	160	0,551	1	0
Elétrico	Mitsubishi Miev	40863	4,545	100	0,736	1	0
Elétrico	Renalt Twizy	20821	1,733	97	0,558	1	0
Elétrico	Renault ZOE	37644	6,250	151	0,623	2	0
Elétrico	BMW i3	53757	5,341	146	0,272	3	0
Híbrido	Toyota Yaris Hybrid	38631	0,167	745	0,530	2	51,3
GPL	Fiat Punto Bi-fuel	29625	0,333	543	0,595	2	47,0
GPL	Dacia Sandero Bi-fuel	23564	0,333	397	0,707	2	24,8

Resultados

No quadro 5.9 é apresentado um resumo dos resultados obtidos. De salientar que o TOPSIS apresenta os resultados da avaliação de todas as alternativas num intervalo de 0 a 1. Quanto mais próximo da unidade uma alternativa estiver, mais preferível é essa alternativa (fundo verde) e quanto mais próximo de 0, pior é a alternativa (fundo vermelho).

Quadro 5.9- Total de ranking obtidos através da aplicação do método TOPSIS

Tipo	Veículo	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
Combustão Interna	VW Golf	0,53276	0,46695	0,53753	0,34016
Combustão Interna	Nissan Pulsar	0,64671	0,54454	0,58145	0,36579
Combustão Interna	Opel Insignia	0,30228	0,46605	0,33986	0,31630
Combustão Interna	Mercedes Classe B	0,36413	0,40741	0,43973	0,24406
Combustão Interna	Audi A3 Sportback	0,46971	0,52816	0,39529	0,35951
Combustão Interna	Toyota Auris	0,70812	0,60198	0,68510	0,60611
Combustão Interna	Toyota Auris Touring Sport	0,71011	0,68307	0,70701	0,52458
Elétrico	VW e-golf	0,42016	0,35840	0,44546	0,64182
Elétrico	Nissan Leaf	0,52220	0,49221	0,53018	0,70190
Elétrico	Mercedes Classe B Eletric	0,29572	0,30884	0,32548	0,57448
Híbrido	Opel Ampera	0,24596	0,38899	0,38508	0,41514
Híbrido	Toyota Auris Hybrid	0,49708	0,48434	0,55606	0,45525
Híbrido	Toyota Auris Touring Sport	0,49776	0,56868	0,56422	0,45711
Plug-in	VW Golf GTE	0,38865	0,43722	0,41402	0,44292
Plug-in	A3 Sportback e-tron	0,53726	0,60042	0,49183	0,44216
Plug-in	Toyota Prius Exclusive	0,45456	0,49667	0,55264	0,56456
Combustão Interna	VW up	0,81269	0,56504	0,77188	0,48417
Combustão Interna	Toyota Yaris	0,66903	0,55358	0,60039	0,50917
Elétrico	VW e-up	0,56220	0,37919	0,49552	0,68671
Elétrico	Mitsubishi Miev	0,62322	0,39935	0,61072	0,73345
Elétrico	Renalt Twizy	0,56325	0,44685	0,58592	0,71252
Elétrico	Renault ZOE	0,62780	0,44455	0,53879	0,72792
Elétrico	BMW i3	0,31212	0,35143	0,19673	0,57057
Híbrido	Toyota Yaris Hybrid	0,68299	0,52587	0,64799	0,52900
GPL	Fiat Punto Bi-fuel	0,72395	0,53298	0,68962	0,58600
GPL	Dacia Sandero Bi-fuel	0,76613	0,54999	0,73145	0,73008

5.4 Análise Estatística

Para determinar se os resultados obtidos na secção anterior indiciam alguma vantagem estatisticamente significativa de um tipo de tecnologia de propulsão sobre as demais, iremos proceder a uma análise de variância (ANOVA), tendo como fator agregador o tipo de tecnologia.

Para este efeito procedeu-se a uma transformação de posto (*rank transform*) sobre os valores da tabela 5.9. Esta transformação é necessária uma vez que alguns dos grupos de dados não respeitavam os pressupostos necessários para um estudo estatístico paramétrico (normalidade e homogeneidade de variâncias). Assim, à viatura com *score* TOPSIS mais alto fez-se corresponder o número 1, à segunda viatura com o *score* mais alto o número 2 e assim sucessivamente. A transformação de posto é uma técnica estatística conhecida que permite usar técnicas paramétricas para efetuar análises não-paramétricas (Conover *et al.*, 1981). Preferiu-se esta técnica a técnicas não-paramétricas mais comuns, como por exemplo o teste *Kruskal-Wallis*, pela facilidade que testes *post-hoc* subsequentes têm em encontrar diferenças

significativas entre os grupos de tecnologia de propulsão em análise. Para os testes *post-hoc* foi escolhido o teste de *Tukey HSD (Honest Significant Difference)*.

Na análise descritiva preliminar obtiveram-se as seguintes *boxplots* (*vulgos* diagramas de extremos e quartis), apresentados na figura 5.2. O eixo vertical representa a posição no *ranking* (maior = pior).

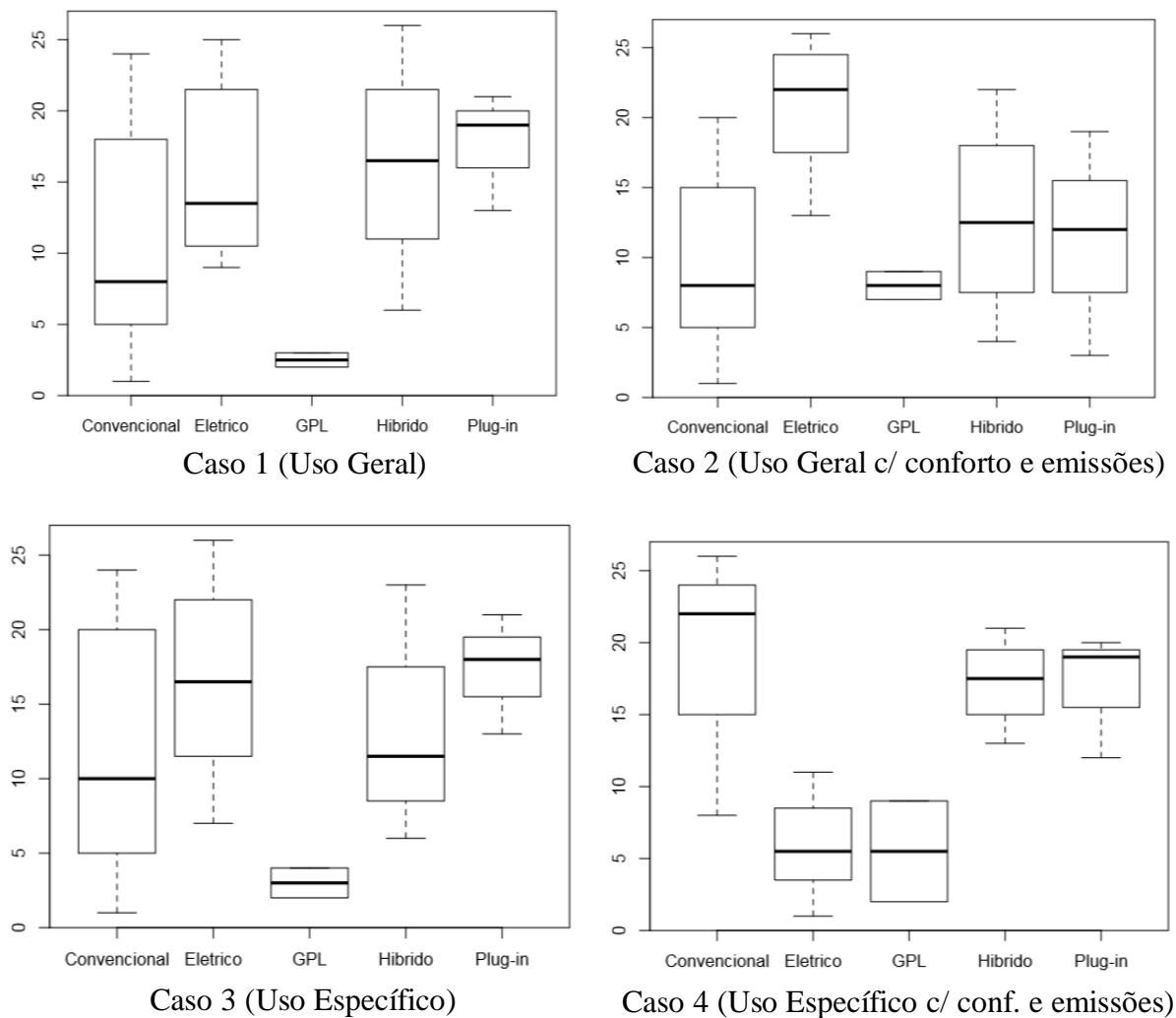


Figura 5.2 – *Boxplots* referentes aos casos de estudo

Correu-se então uma ANOVA sobre os postos, cujos resultados discutimos agora.

- **Caso 1**
Para o caso 1 não foram identificadas diferenças estatisticamente relevantes entre as várias tecnologias (valor de prova (*p-value*) na ANOVA de 14%). Assim, para uso geral as tecnologias são todas relativamente equivalentes entre si, nos termos desta análise. A escolha de um veículo para uso geral atendendo a estes critérios torna-se pois uma preferência pessoal do consumidor, não havendo razões técnicas de monta para preferir uma tecnologia em particular em domínio de qualquer uma das outras.
- **Caso 2**
No caso 2 entrando em linha de conta com fatores ambientais o panorama é semelhante ao caso anterior notando-se apenas uma degradação da opção elétrica, oriunda do facto dos modelos à disposição terem menores índices de conforto que outras opções. As vantagens em termos de emissões não são suficientes para compensar este facto, e assim os elétricos perdem posição relativa. Apesar da ANOVA ser significativa (*p-value* de 0.86%), esta deve-se exclusivamente à diferença apenas entre o elétrico e convencional.
- **Caso 3**
Também para o caso em que o veículo se destina apenas para uso específico e considerando apenas quatro critérios, não foram encontradas diferenças estatisticamente relevantes entre as tecnologias (*p-value* de 18%). Assim, e ao contrário do que a partida seria de se esperar, as mais-valias da tecnologia elétrica não vingam dentro do conjunto das viaturas em estudo.

Neste caso, apesar da *bloxplot* referente a este caso indicar vantagem para o GPL a ANOVA não detetou quaisquer diferenças significativas entre as tecnologias.
- **Caso 4**
Relativamente ao caso 4, onde se considera um uso específico do veículo para meio urbano, e onde se inclui a componente ambiental, o panorama dá vantagem à tecnologia elétrica. A ANOVA e subsequentes testes *post-hoc* mostram que esta é significativamente superior às três outras tecnologias (convencional, híbrido e híbrido plug-in), ficando equilibrada com o GPL. Note-se que em nenhum dos outros casos, o GPL teve qualquer diferença significativa para com as outras tecnologias não-elétricas. Conclui-se assim, que um comprador interessado num veículo para uso urbano e com preocupações ambientais tem neste caso, e apenas neste, razões técnicas para exercer a sua escolha por um veículo elétrico.

6. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Olhando globalmente aos resultados anteriores verifica-se em primeiro lugar que não existe nenhuma diferença significativa entre híbrido, GPL, convencional e plug-in, ao contrário do que se poderia esperar. As vantagens e inconvenientes destas tecnologias de certa forma anulam-se umas às outras globalmente tornando-se virtualmente equivalentes para os veículos estudados.

Quanto aos veículos elétricos, estes destacam-se sobre os demais apenas quando o seu uso se destina a um uso específico, cidadão, e quando o potencial comprador tem preocupações ambientais. Em todos os outros casos não evidenciou nenhuma mais-valia significativa sobre as demais tecnologias, mas também não tem nenhuma menos-valia evidente.

Naturalmente, o conjunto de pesos usados reflete o julgamento do seu autor, podendo eventualmente este variar com outro avaliador. O método AHP deve, por definição, ter os julgamentos feitos por peritos na área, pelo que à partida eventuais variações nos pesos atribuídos por vários peritos não deverão ter reflexo de monta no resultado final. No entanto, e para despistar tais oscilações, foi pedida uma segunda matriz AHP a um *expert*.

Foi então efetuada a mesma análise com outro juízo (juízo 2) de preferências no método AHP, do qual se obteve os pesos indicados no quadro 6.1.

Quadro 6.1 – Pesos referentes ao juízo 2

		Custo	Tempo de Reabastecimento	Autonomia	Desempenho	Conforto	Emissões
Juízo 2	Caso 1	0,507130	0,189245	0,350713	0,109329		
	Caso 2	0,258068	0,047441	0,243703	0,149322	0,223215	0,078250
	Caso 3	0,537587	0,131658	0,286213	0,044542		
	Caso 4	0,190484	0,065100	0,157370	0,369331	0,124457	0,434818

Da análise multicritério e estatística subsequente, da qual apresentaremos apenas as conclusões, a principal observação é de clara inadequação da opção elétrica quando a componente ambiental não é considerada e de equilíbrio entre todas as opções quando o é. Quanto às outras tecnologias, são neste juízo 2 todas equivalentes estatisticamente.

Este *swing* negativo no valor da opção elétrica deve-se essencialmente ao facto de o segundo juízo revelar mais preocupação com o custo, e menos preocupação com questões ambientais e

de desempenho, que são os pontos fortes dos veículos elétricos, especialmente o primeiro. É no entanto reveladora a conclusão de que as outras tecnologias são muito equivalentes entre si, facto que provavelmente será geral se considerarmos mais conjuntos de pesos. Sobre a opção elétrica, a conclusão combinada parece ser de que o valor desta dependerá fortemente da tendência ecológica do potencial comprador, e apenas para uso urbano.

Por último, foi também realizado um estudo usando outro método multicritério na fase 2, designadamente o método não-compensatório ELECTRE III. Esta natureza não compensatória, no sentido em que maus *scores* num critério podem não ser compensados com bons *scores* noutros critérios, torna o método mais conservador, sendo portanto em teoria mais difícil encontrar diferenças entre tecnologias. De facto, analisando os resultados obtidos, verificou-se que efetivamente o ELECTRE III não conseguiu encontrar diferenças estatisticamente significativas, independentemente do conjunto de pesos usados e dos parâmetros com que este foi calibrado internamente. Estes resultados foram por isso descartados. Na verdade, salvo um ou outro caso onde a diferença se revelava significativa entre extremos, praticamente todos os testes ANOVA *post-hoc* indicavam equivalência entre tecnologias.

7. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A principal conclusão deste estudo é que existe bastante equilíbrio entre as várias tecnologias de propulsão disponíveis nos veículos existentes no mercado português, salientando-se apenas que o veículo elétrico é desaconselhado para uso geral (i.e., utilização urbana e interurbana), sendo neste momento na melhor das hipóteses opção para um mercado de nicho de uso urbano e consumidores com consciência ecológica. É uma conclusão talvez inesperada, especialmente se tivermos em conta os enormes investimentos feitos pelas construtoras no sentido de tecnologias mais limpas e económicas, mas facto é que na prática os inconvenientes e custos destas novas tecnologias levam ainda muitos consumidores a optar pelas tecnologias mais convencionais. Esta tendência, encontrada pela pesquisa desenvolvida neste trabalho, verifica-se de facto na prática, como se pode confirmar pelos registos nas estatísticas da especialidade.

Pode afirmar-se então que é apenas quando o potencial comprador é cidadão e tem forte pendor ecológico, que estas novas tecnologias se tornam mais apelativas e plausíveis de se tornarem numa compra. A acrescer ao facto de os custos iniciais, mais elevados, do veículo elétrico justificarem que o crescimento de vendas, muito recente, tenha ocorrido em países onde o poder de compra é superior e as preocupações ambientais têm suporte económico, tais como EUA, Noruega, Japão entre outros, como se pode verificar através do Anexo A (figura A.2).

Faz-se notar também que a dimensão relativamente pequena da amostra considerada reflete a oferta em Portugal das tecnologias em questão, oferta essa largamente dominada por veículos convencionais. A dificuldade em encontrar outros exemplares para adicionar ao estudo levou a que o agrupamento por tecnologias tivesse um baixo número de elementos, o que por seu turno levou a que fosse difícil encontrar diferenças estatisticamente significativas entre as tecnologias. Houvesse, por exemplo, uma oferta de dez ou mais viaturas de cada tipo de tecnologia, as conclusões deste estudo poderiam ter sido mais vincadas e precisas.

Relativamente a possíveis trabalhos futuros, dada a rápida evolução do mercado automóvel e a intensa experimentação dos construtores com novas soluções, seria interessante voltar a repetir este estudo quando o mercado disponibilizar mais ofertas de cada tipo de tecnologia, igualmente atualizadas com o que de melhor se faça na indústria nessa altura, e acompanhadas por um decréscimo de custo (previsível em função da evolução do preço das baterias) dos veículos de gama elétrica. Com a existência de mais alternativas as conclusões quanto à atratividade para o comprador das várias tecnologias de propulsão serão certamente mais significativas. Poderá

inclusive ser possível indicar um rumo tecnológico espectável para a procura a médio prazo, algo que não é possível de momento porque não existem suficientes diferenças entre as tecnologias em estudo.

Um outro trabalho futuro interessante a realizar seria a procura de dados junto dos construtores relativamente a veículos movidos a células de combustível (hidrogénio), e juntar estes veículos à comparação aqui realizada.

Terminamos esta dissertação convictos de que há ainda um longo caminho a percorrer pelas construtoras automóveis até que as novas tecnologias de propulsão se tornem verdadeiramente mais apetecíveis para o consumidor e, assim, se conseguir o tão desejado *shift* para uma locomoção automóvel mais ecológica. É essencial consegui-lo, pois na economia de mercado em que vivemos é o consumidor que, em última análise, tornará essa mudança uma realidade.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguierre, K., Eisenhardt, L., Lim, C., Nelso, B., Noring, A., Slowik, P., Tu, N. (2012). “Lifecycle analysis comparison of a battery electric vehicle and a conventional gasoline vehicle”. California Air Resources Board. California.
- Al-Alawi, Baha, M., Bradly, T. (2013). “Total cost of ownership, payback, and consumer preference modeling of plug-in hybrid electric vehicles”. Applied energy, Vol. 103, pp.488-506.
- Apetro@ (2015a). http://www.apetro.pt/documentos/reservas_tabela.pdf. Apetro, Portugal.
- Apetro@ (2015b). http://www.apetro.pt/documentos/consumo_tabela.pdf. Apetro, Portugal.
- Apetro@ (2016 b). http://www.apetro.pt/documentos/relatorio_consulsafety_final.pdf. Apetro, Portugal.
- Apetro@(2016a).http://www.apetro.pt/index.php?option=com_content&task=view&id=71&Itemid=126. Apetro, Portugal.
- AUTOGAS.PT@(2016).<http://www.autogas.pt/site/index.php?p=gplcombustivel>. AUTOGAS, Portugal.
- Axsen, J., Kurani, K. (2013). “Hybrid, plug-in, hybrid, or electric – what do car buyers want?”. Energy Policy, Vol.61, pp.532-543.
- Axsen, J., Yang, C., MacCarthy, R., Burke, A., Kurami, K. e Turrentine, T. (2011). “Sustainable Transportation Energy Pathways – A Research Summary for Decision Makers”. Chapter 2, Institute of Transportation Studies, University of California, California.
- Banister, D. (2005). “Unsustainable transport-city transport in the new century”. New York.
- Barbosa, A. (2012). “Redes de abastecimento para veículos elétricos”. Instituto Superior de Engenharia do Porto-Departamento de Engenharia Eletrotécnica. Porto.

-
- Climate Home @ (2015). <http://www.climatechangenews.com/2015/03/23/falling-battery-prices-boost-outlook-for-electric-vehicles/>. Climate Home, Reino Unido.
- Conover, W., Iman, R. (1981). “Rank transformation as a bridge between parametric and nonparametric statistics”. *The American Statistician*, Vol. 35, Issue 3, pp. 124-129.
- Coutinho-Rodrigues, J. (2012). “Gestão de Empreendimentos – Avaliação e gestão em projetos de engenharia”. Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Dalkmann, H., Brannigan, C. (2007). “Sustainable transport: a sourcebook for policy-makers in Developing Cities”. *Transport and Climate Change*. Vol. 5
- Direção Geral de Energia e Geologia. (2015). “Energia em Portugal”. Ministério do ambiente, ordenamento do território e energia. Lisboa.
- Económico@ (2015). http://economico.sapo.pt/noticias/portugal-foi-o-4-pais-da-ue-em-aumento-de-emissoes-de-gases-poluentes-eurostat_233703.html. “Portugal foi o 4º país da UE em aumento de emissões de gases poluentes – Eurostat”, *Jornal Económico*.
- Económico@ (2016). http://economico.sapo.pt/noticias/veeco-carro-electrico-portugues-a-venda-em-2016_224574.html. “Veeco: Carro elétrico português à venda em 2016”, *Jornal Económico*.
- EEA Report. (2010). “Towards a resource-efficient transport system”. European Environment Agency, nº2. Copenhagen.
- ENERGY.GOV@ (2015). http://www.nrel.gov/analysis/transportation_futures/pdfs/tef_summary_deck_final.pdf. ENERGY.GOV, Estados Unidos da América.
- Galp Energia @ (2016). <http://www.galpennergia.com/PT/ProdutosServicos/Produtos/Combustiveis/Paginas/GPLAuto.aspx>. Galp Energia, Portugal
- Goldember, J. (2009). “Biomassa e Energia”. *Química Nova*, Vol.32, nº3.
- Hawkins, T., Singh, B., Majeau-Bettez, G., Strømman, A. (2012). “Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles”. *Journal of Industrial Ecology*, Vol.17, Issues 1, pp-53-64.
- Hoyer, K. (2008). “The history of alternative fuels in transportation: the case of electric and hybrid cars”. *Utilities Policy*, Vol.16, pp.63-71.
-

- IEA@(2012).http://www.iea.org/media/etp/etp2012_tech_overview_04_electric_vehicles.pdf. Agência Internacional de Energia. Paris
- IEA (2015). “Key World Energy Statistics”. International Energy Agency, Paris.
- IEEE-USA. (2012). “Breaking our dependence on oil by transforming transportation”. National Energy Policy Recommendations. Washington.
- Kojima, K., Ryan, L.(2010). “Transport energy efficiency”. International Energy Agency. France.
- Kreation@(2016a).<http://kreation.dec.uc.pt/projects/matrix2/assets/player/KeynoteDHTMLPlayer.html#1>. Kreation, Coimbra.
- Kreation@(2016b).<http://mad.dec.uc.pt/>. Kreation, Coimbra
- Litman, T.(2003). “Reinventing transportation – exploring the paradigm shift needed to reconcile transportation and sustainability objectives”. Victoria Transport Policy Institute. Canadá.
- Litman, T., Burwell, D.(2006). “Issues in sustainable transportation”. International Journal Global Environmental, Vol. 6, nº4, pp.331-347.
- Ogden, J. e Anderson, L. (2011a). “Sustainable Transportation Energy Pathways – A Research Summary for Decision Makers”. Chapter 0. Institute of Transportation Studies, University of California, California.
- Ogden, J., Yang, C., Cunningham, J., Johnson, N., Li, X., Nicholas, M., Parker, N. e Sun, Y. (2011b). “Sustainable Transportation Energy Pathways – A Research Summary for Decision Maers”. Chapter 3. Institute of Transportation Studies, University of California, California.
- Parker, N. , Jenkins, B., Dempster, P., Higgins, B. e Ogden, J. (2011). “Sustainable Transportation Energy Pathways – A Research Summary for Decision Makers”. Chapter 1. Institute of Transportation Studies, University of California, California.
- Rodionov, A., Wilkening, H., Moretto, P. (2011). “Risk assessment of hydrogen explosion for private car with hydrogen-driven engine”. International Journal of Hydrogen Energy, Vol.36, pp.2398-2406.

- Rösler, H., Zwaan, B., Keppo, I., Bruggink, J. (2014). “Electricity versus hydrogen for passenger cars under stringent climate change control”. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Vol.5, pp.106-118.
- Saaty, T. (2008). “Decision making with the analytic hierarchy process”. *International Journal Services Sciences*, Vol.1, No.1, pp.83-98.
- Santos, F., Santos, F. (2015). “Educação, Ciência e Tecnologia- O combustível hidrogénio”. Instituto Politécnico de Viseu, pp. 252-270.
- Steg, L., Gifford, R. (2005). “Sustainable transportation and quality of life”. *Journal of Transport Geography*, Vol.13, pp.59-69.
- Taymaz, I., Benli, M. (2014). “Emissions and fuel economy for a hybrid vehicle”. *Fuel*, Vol. 115, pp.812-817.
- Vicent, A. (2011). “Laying the foundations for greener transport”. European Environment Agency, nº7. Copenhagen.
- Yang, C., MacCollum, D. e Leighty, W. (2011). “Sustainable Transportation Energy Pathways– A Research Summary for Decision Makers”. Chapter 8, Institute of Transportation Studies, University of California, California.

ANEXO A

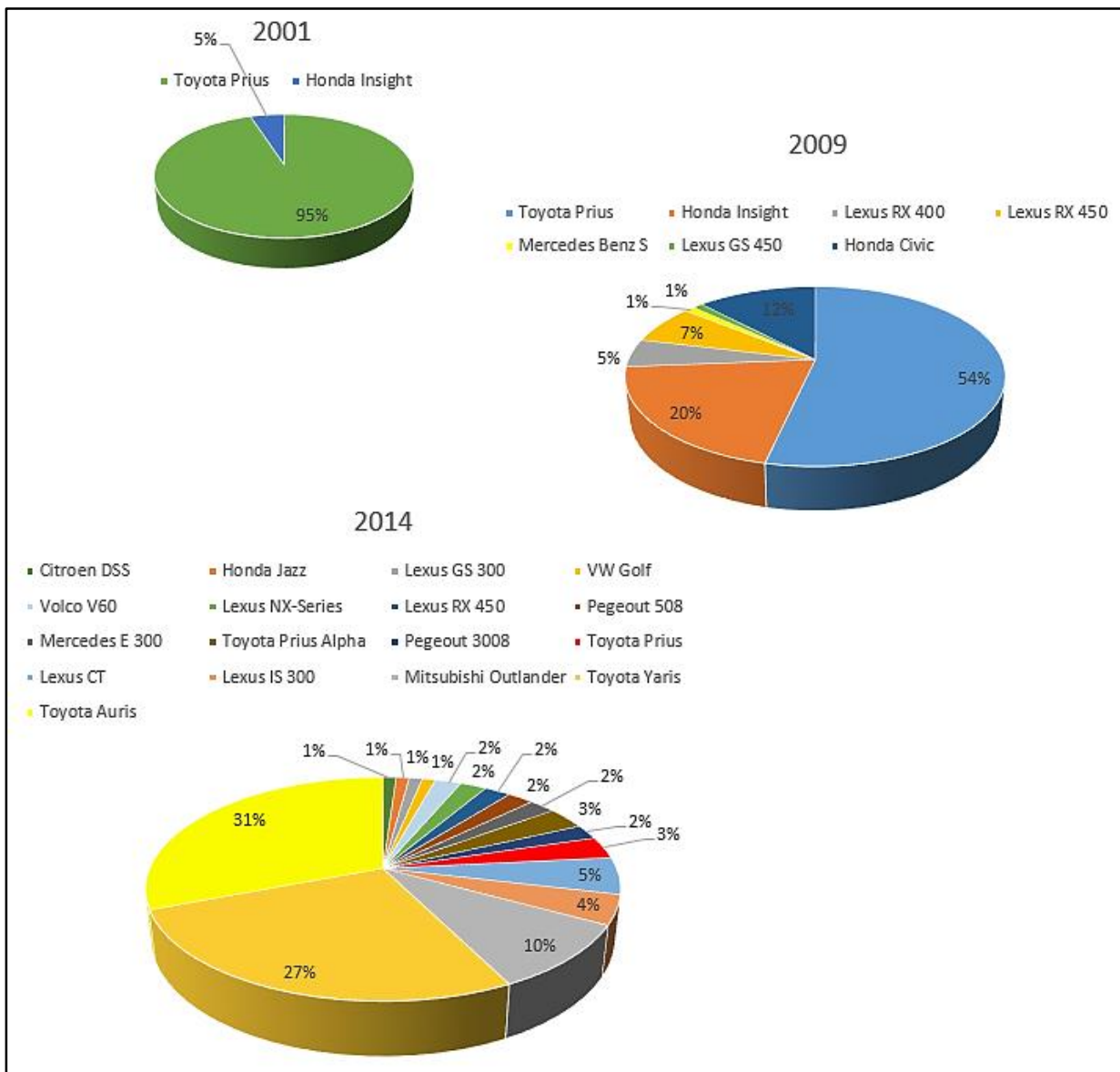


Figura A.1 - Representação esquemática do aumento da variedade dos fabricantes e modelos de veículos elétricos híbridos entre 2001 e 2014 e evolução das vendas.

(Fonte de dados: http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EU-pocketbook_2015.pdf)

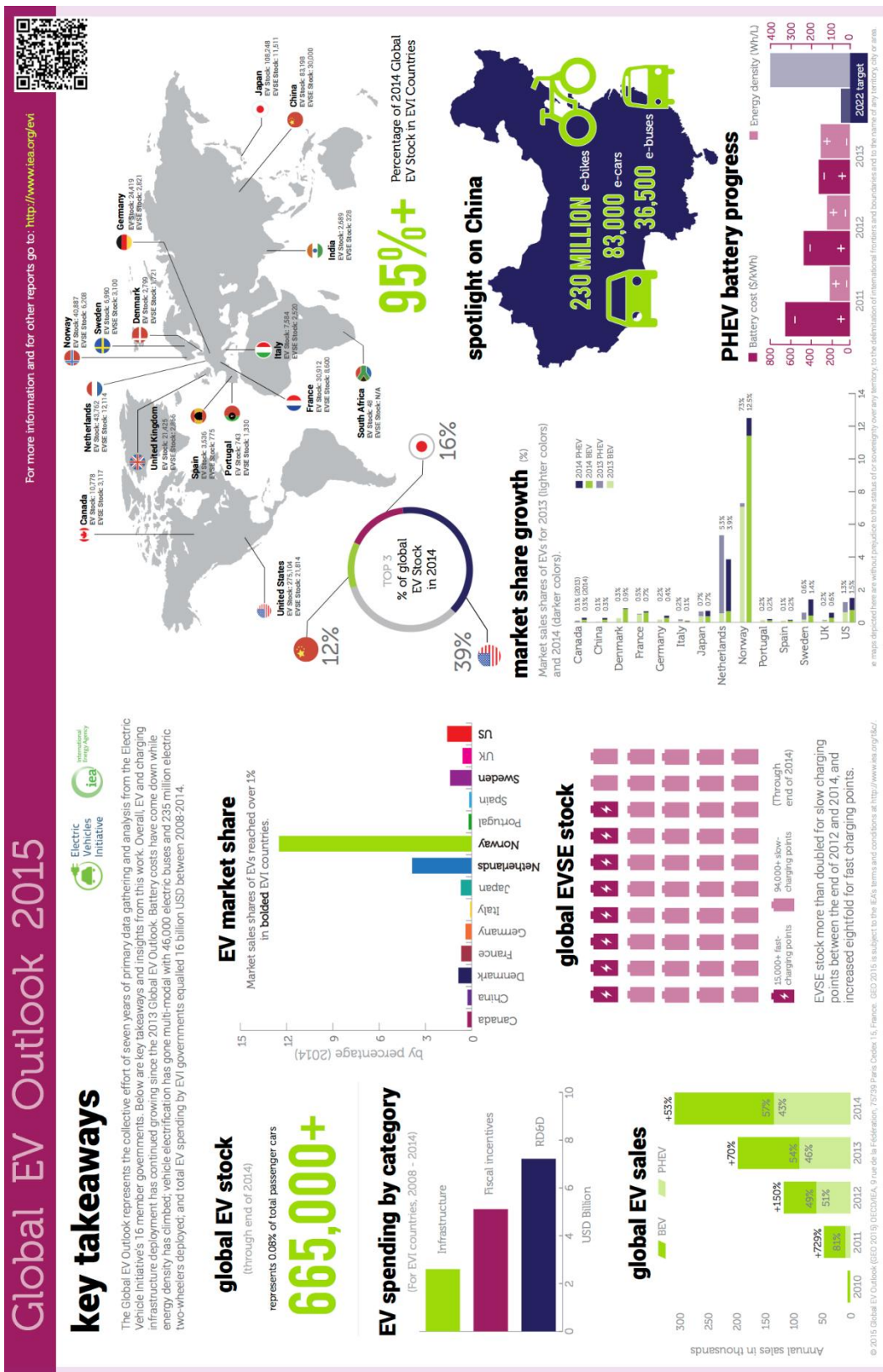


Figura A.2 - Visão global da evolução recente dos VE e VEHP, infraestruturas e investimentos (Fonte: AIE - <https://www.iea.org/topics/transport/subtopics/electricvehiclesinitiative/>) (BEV- Battery Electric Vehicles; PHEV-Plug-In Hybrid Electric Vehicles; EVSE- Electric Vehicle Supply Equipment)