



Metodologia multicritério para seleção de um veículo elétrico doméstico

FRANCISCO MIGUEL LEMOS DE SOUSA

novembro de 2021

POLITÉCNICO DO PORTO
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

Metodologia multicritério para seleção de um veículo elétrico doméstico

Francisco Miguel Lemos Sousa

Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Área de Especialização em Sistemas e Planeamento Industrial



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA
Instituto Superior de Engenharia do Porto

Novembro, 2021

Esta dissertação satisfaz, parcialmente, os requisitos que constam da Ficha de Unidade Curricular de Tese/Dissertação, do 2º ano, do Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Área de Especialização em Sistemas e Planeamento Industrial.

Candidato: Francisco Miguel Lemos Sousa, N.º 1151592,
1151592@isep.ipp.pt

Orientação Científica: Maria Teresa Ribeiro Pereira, mtp@isep.ipp.pt

Coorientação Científica: Marisa Oliveira, mjo@isep.ipp.pt



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA
Instituto Superior de Engenharia do Porto
Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4200-072 Porto

Novembro, 2021

Agradecimentos

Agradeço aos meus orientadores, Professora Maria Teresa Ribeiro Pereira e Professora Marisa Oliveira por toda a ajuda, apoio, sugestões e conhecimento transmitido ao longo da elaboração da minha dissertação e por toda a disponibilidade apresentada.

Agradeço também ao Professor Luis Miranda Torres pelo conhecimento transmitido sobre os veículos elétricos.

A toda a minha família, em especial à minha Mãe, por me aturarem todos estes anos e me terem ajudado nos momentos mais difíceis.

Aos meus amigos que estiveram presentes em todos os momentos da minha vida, melhores ou piores, e por todos os momentos de companhia quando estava mais em baixo. Obrigado ao que estão presentes há mais tempo e obrigado aos que só se cruzaram comigo mais recentemente.

Obrigado aos meus colegas do ISEP que com o passar dos anos deixaram de ser apenas colegas de curso e passaram a ser amigos.

Resumo

Numa época em que o sector dos transportes continua a ser um dos sectores de atividade com maior consumo de energia, este é uma das principais fontes de emissão de gases com efeito de estufa (GEE), provocando elevados níveis de poluição do ar e poluição sonora. Consequentemente podem danificar gravemente a saúde humana e os ecossistemas envolventes, pelo que nós, seres humanos, temos de começar a fazer alguma coisa para mudar o estado atual do nosso meio ambiente. Por isso, os Veículo Elétrico (VE), em particular, são apresentados como ecológicos e amigos do ambiente, dado que durante a sua deslocação não emitem gases nocivos para o ambiente, tendo como objetivo principal desta dissertação, prender-se na análise de qual é o VE mais acessível nos dias de hoje para o uso próprio dele.

Para tal comparação, são aplicados o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e o método *Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations* (PROMETHEE) para se estabelecer um *ranking* de acordo com o desempenho nos critérios selecionados, devido à existência de software de implementação e facilidade de compreensão.

Para a fase de estruturação do problema, a definição de critérios e respetivos pesos foi usado o método AHP e para avaliação das alternativas, dos vários modelos dos VEs, em cada um dos critérios e sua agregação foi usado o método PROMETHEE.

Palavras-Chave: Multicritério, AHP, PROMETHEE, Veículos elétricos.

Abstract

At a time when the transport sector continues to be one of the activity sectors with the highest energy consumption, this is one of the main sources of *greenhouse gas* (GHG), causing high levels of air and noise pollution. As a result, they can severely damage human health and the ecosystems involved, so we humans have to start doing something to change the current state of our environment. Therefore, the Electric Vehicle (EV), in particular, are provided as ecological and environmentally friendly, since during their displacement they do not emit harmful gases into the environment. The main goal of this dissertation is to analyze which is the most accessible which is the most affordable EV nowadays for his own use.

For such comparison, the method AHP and the method PROMETHEE are applied to establish a *ranking* according to the performance in the selected criteria, due to the existence of implementation software and ease of understanding.

For the structuring phase of the problem, the definition of criteria and respective weights was used the AHP method and for the evaluation of the alternatives, the various models of the EVs, in each of the criteria and their aggregation was used the PROMETHEE method.

Keywords: Multi-criteria, PROMETHEE, AHP, Electric vehicles.

Índice

Lista de Figuras	vii
Lista de Tabelas	ix
Lista de Acrónimos	xi
1 Introdução	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Definição do problema	2
1.3 Organização da dissertação	3
2 Revisão bibliográfica	5
2.1 Análise de Decisão Multicritério - <i>Multicriteria Decision Analysis</i> (MCDA)	5
2.1.1 Método PROMETHEE	7
2.1.2 Método AHP	12
2.1.3 AHP-PROMETHEE	14
2.2 Veículos Elétricos	15
2.2.1 Vantagens e Desvantagens da Utilização de um VE	21
2.2.2 VEs em Portugal	23
2.2.3 VEs pelo Mundo	25
3 Aplicação da metodologia de análise multicritério - Resultados/- Discussão	33
3.1 Definição dos critérios de decisão	33
3.2 Aplicação do método AHP	37
3.3 Aplicação do método PROMETHEE	42
3.3.1 PROMETHEE rankings	45
Parcial - PROMETHEE I	45
Completo - PROMETHEE II	47
PROMETHEE <i>Graphical Analysis for Interactive Aid</i> (GAIA)	47
3.3.2 Análise da Sensibilidade	51
3.3.3 Análise dos resultados dos métodos	59

4	Caso de estudo com um decisor	61
4.1	Identificação e estruturação do problema	61
4.2	Aplicação do método AHP	61
4.3	Aplicação do método PROMETHEE	62
4.3.1	PROMETHEE rankings	63
	Parcial - PROMETHEE I	63
	Completo - PROMETHEE II	64
	PROMETHEE GAIA	65
4.3.2	Análise da Sensibilidade	66
4.3.3	Análise dos resultados dos métodos	69
5	Conclusões e Trabalho Futuro	71
5.1	Conclusões	71
5.2	Trabalho Futuro	72
	Referências	73
	Anexo A Questionario do <i>google forms</i>	79

Lista de Figuras

2.1	Tipos de critérios generalizados [13].	8
2.2	Gráfico de superação [13].	9
2.3	Gráfico de fluxos no critério a [13].	10
2.4	Alternativas e critérios no plano <i>Graphical Analysis for Interactive Aid</i> (GAIA) [14].	12
2.5	Estrutura Hierárquica do <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP) [18]. . .	13
2.6	Veículo Elétrico (VE) [26].	17
2.7	Veículo Híbrido (VH) [26].	18
2.8	Veículo Híbrido Elétrico Plug-in (VHEP) [26].	18
2.9	Veículo Elétrico de Autonomia Estendida (VEAE) [26].	19
2.10	Veículo Elétrico com Célula de Combustível (VECC) [26].	19
2.11	Comparação entre um VE e um Veículo com motor de combustão (VMC) [27].	20
2.12	Stock global de VEs por região [28].	21
2.13	Vendas dos VE e VHEP no mês de julho de 2021 [34].	23
2.14	Número total de infraestruturas por tipo de combustível [35].	24
2.15	Frota total de automóveis de passageiros por combustível alternativo [35].	24
3.1	Gráfico das respostas do questionário.	34
3.2	Gráfico das respostas do questionário.	34
3.3	Peso relativo de cada critério.	41
3.4	Passos na definição da Função de Preferência.	43
3.5	Introdução das características do caso de estudo no <i>Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations</i> (PROMETHEE).	44
3.6	Tabela de fluxo.	46
3.7	PROMETHEE I – <i>ranking</i> parcial.	46
3.8	PROMETHEE II – <i>ranking</i> completo.	47
3.9	PROMETHEE GAIA.	48
3.10	PROMETHEE GAIA com o eixo do critério “Preço” evidenciado. . .	50
3.11	<i>Walking weight</i> – visão inicial.	52
3.12	<i>Walking weight</i> com peso da autonomia a 60%.	52

3.13	<i>Visual Stability Intervals</i> – Autonomia.	53
3.14	<i>Walking weight</i> com peso do preço a 70%.	54
3.15	<i>Visual Stability Intervals</i> – Preço.	54
3.16	<i>Walking weight</i> com peso do custo de utilização a 30%.	55
3.17	<i>Visual Stability Intervals</i> – Custo de utilização.	56
3.18	<i>Walking weight</i> com peso do volume da carga a 30%.	57
3.19	<i>Walking weight</i> com peso da capacidade da bateria a 30%.	57
3.20	<i>Visual Stability Intervals</i> – Potência.	58
3.21	<i>Walking weight</i> com peso da potência a 25%.	58
3.22	<i>Visual Stability Intervals</i> – Performance.	59
4.1	Estrutura hierárquica do problema.	62
4.2	Respetivos pesos dos critérios.	62
4.3	Introdução das características do caso de estudo no PROMETHEE.	63
4.4	Tabela de fluxo.	63
4.5	PROMETHEE I – <i>ranking</i> parcial.	64
4.6	PROMETHEE II – <i>ranking</i> completo.	65
4.7	PROMETHEE-GAIA	66
4.8	<i>Visual Stability Intervals</i> - Preço.	67
4.9	<i>Visual Stability Intervals</i> - Consumo.	67
4.10	<i>Visual Stability Intervals</i> - Autonomia.	68
4.11	<i>Visual Stability Intervals</i> - Tecnologia.	68
4.12	<i>Visual Stability Intervals</i> - Marca.	69
A.1	Questionario do <i>google forms</i>	79
A.2	Questionario do <i>google forms</i>	80
A.3	Questionario do <i>google forms</i>	80
A.4	Questionario do <i>google forms</i>	80
A.5	Questionario do <i>google forms</i>	80

Lista de Tabelas

2.1	Escala numérica de Saaty [16].	13
2.2	Método AHP: Índice de Consistência (IC) [16].	14
3.1	Definição dos critérios [49].	36
3.2	Matriz de comparações entre pares dos critérios em relação ao objetivo.	39
3.3	Matriz normalizada e respetivo peso para cada critério.	40
3.4	Definição geral dos critérios.	42

Lista de Acrónimos

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANP	<i>Analytic network process</i>
CO2	Dióxido de Carbono
DEMATEL	<i>Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory</i>
ELECTRE	<i>ELimination and Choice Expressing Reality</i>
EUA	Estados Unidos da América
EV	Electric Vehicle
GAIA	<i>Graphical Analysis for Interactive Aid</i>
GEE	gases com efeito de estufa
GHG	<i>greenhouse gas</i>
IC	Índice de Consistência
IR	Índice de Consistência Aleatório
IRC	Imposto sobre o Rendimento de Pessoas Coletivas
ISV	Isenção de Imposto Sobre Veículos
IUC	Isenção do Imposto Único de Circulação
IVA	Imposto sobre o valor acrescentado
MCDA	<i>Multicriteria Decision Analysis</i>
OZEV	<i>Electric Vehicle Home Charge Scheme</i>
PCA	<i>Principal components analysis</i>
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations</i>
RC	Rácio de Consistência

SMART	<i>Simple Multi-Attribute Rating Technique</i>
TOPSIS	<i>Technique for order performance by similarity to ideal solution</i>
VE	Veículo Elétrico
VEAE	Veículo Elétrico de Autonomia Estendida
VECC	Veículo Elétrico com Célula de Combustível
VEZ	Veículos com emissão zero
VH	Veículo Híbrido
VHEP	Veículo Híbrido Elétrico Plug-in
VIKOR	<i>VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje</i>
VMC	Veículo com motor de combustão
WLTP	Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure
WSI	<i>Weight Stability Interval</i>

Capítulo 1

Introdução

Este primeiro capítulo visa apresentar e descrever de forma sucinta o trabalho desenvolvido, que incide no uso de metodologias de multicritério para a escolha de um VE doméstico. Será também apresentado e descrito a contextualização, uma breve descrição do problema e a abordagem para o desenvolvimento da dissertação.

1.1 Contextualização

O transporte rodoviário é o meio de transporte mais utilizado em Portugal, seja no âmbito particular ou empresarial, sendo essencial à atividade humana por ser o maior responsável pela mobilidade de pessoas e bens [1].

Na década de 2000, o desenvolvimento dos VEs, viu a tecnologia adotada por um número maior do que nunca. O Roadster da Tesla, que foi colocado à venda em 2008, foi um ponto de viragem para a indústria. O design atraente e a autonomia estendida do Roadster atraíram um mercado maior do que nunca e incentivaram outros concorrentes a lançar seus próprios modelos [2].

Os VEs são apresentados como ecológicos e amigos do ambiente, uma vez que não emitem gases nocivos ao meio ambiente durante o seu percurso [3].

Além de serem veículos menos poluentes, são mais silenciosos, mais econômicos, em termos de consumo, e não utilizam combustíveis fósseis na condução. [3].

No entanto, apesar de todas essas vantagens, duas desvantagens principais estão associadas ao VE: autonomia reduzida e custos de compra relativamente altos comparando com os VMCs. Outra desvantagem importante num VE está nos elevados custos das suas baterias cuja tecnologia ainda se encontra numa fase prematura [3].

Os transportes são responsáveis por quase 30% das emissões de dióxido de carbono na União Europeia, dos quais 72% derivam dos transportes rodoviários [4].

Estes números têm tendência a aumentar, se não houver intervenções governamentais e um forte desenvolvimento tecnológico. Com o intuito de reduzir este número, foram já tomadas medidas governamentais de incentivo à aquisição de veículos com emissões reduzidas [4, 5].

Esta medida serve não só de incentivo aos utilizadores dos veículos, mas também à indústria automóvel, dado que esta possui um papel cada vez mais importante neste meio. O desenvolvimento de veículos equipados com motores mais eficientes tem sido uma preocupação constante e os veículos desenvolvidos hoje em dia possuem consumos e emissões cada vez mais reduzidos [4, 5].

Temos o exemplo da marca Volvo que pretende eliminar os novos VMCs do seu portfólio até 2025, quando espera que os híbridos representem 50% das vendas e os modelos elétricos puros representem os outros 50% das vendas. A marca passará os próximos cinco anos a eliminar os híbridos [6, 7].

1.2 Definição do problema

O principal objetivo desta dissertação consiste em aplicar uma metodologia de apoio à tomada de decisão baseada num modelo *Multicriteria Decision Analysis* (MCDA) para a escolha de um VE. A função primária destas metodologias é auxiliar um decisor a hierarquizar diversas alternativas, que são avaliadas segundo um conjunto finito de critérios, podendo estes ser quantitativos ou qualitativos.

Com o objetivo de obter um *ranking* dos melhores VEs, será considerado um conjunto de critérios que serão quantificados, procedendo-se à atribuição de pesos que definirão a sua importância relativa para a tomada de decisão.

Aplicando dois métodos de apoio à MCDA, o AHP e o PROMETHEE, o principal intuito é obter um *ranking* dos melhores VEs. O método AHP, foi utilizado para determinar os pesos de cada critério definido, enquanto que o método PROMETHEE foi utilizado para determinar o melhor VE tendo em conta os vários critérios e os pesos dos mesmos.

Assim, para a análise da MCDA será utilizado o PROMETHEE-GAIA software que utiliza o método PROMETHEE.

1.3 Organização da dissertação

Esta dissertação encontra-se organizada da seguinte forma:

- Capítulo 1: Apresentação do âmbito e contextualização do problema em estudo, os seus objetivos e a metodologia a ser utilizada na sua resolução;
- Capítulo 2: Revisão de literatura, onde são abordados os conceitos básicos no apoio ao multicritério, bem como as diversas etapas e métodos que constituem a análise de decisão num problema com múltiplos critérios a considerar. De seguida, são abordados conceitos e processos relacionados com os VEs. Aborda também questões teóricas acerca do tema começando pelos diferentes tipos de veículos existentes, o ponto da situação dos VEs no mundo e também em Portugal, bem como as suas vantagens e desvantagens;
- Capítulo 3: Aplicação e desenvolvimento dos métodos AHP e PROMETHEE na avaliação dos modelos dos VEs. Numa primeira etapa é identificado e estruturado o problema, implementando-se posteriormente o método AHP, seguindo-se do método PROMETHEE, onde ambos os métodos são analisados individualmente. A implementação dos dois métodos resultará na classificação dos modelos dos VEs que serão comparados e analisados;
- Capítulo 4: Aplicação e desenvolvimento dos métodos AHP e PROMETHEE num caso de estudo com um decisor;
- Capítulo 5: São apresentadas as principais conclusões tiradas da análise prática, bem como perspectivas para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Revisão bibliográfica

Este capítulo tem como função apresentar os conceitos básicos no apoio ao multicritério, bem como as diversas etapas e métodos que constituem a análise de decisão num problema com múltiplos critérios a considerar. Para isso, será apresentado os dois métodos que serão utilizados no caso de estudo (AHP e PROMETHEE).

De seguida, para contextualizar os métodos, será feita uma breve explicação de como funcionam os VEs, sendo apresentado inicialmente a história dos VEs bem como os vários tipos de veículos existentes no mercado automóvel. Será também abordado as vantagens e desvantagens da utilização de um VE. Por último, será identificado as principais medidas que têm sido adotadas por diversos países para incentivar a aquisição de VEs.

2.1 Análise de Decisão Multicritério - MCDA

Segundo Dodgson (et al). [8], a MCDA é uma abordagem para auxiliar o processo de tomada de decisão a vários níveis, incluindo a organização e síntese da informação disponível, de modo a potenciar nos decisores uma visão holística e estruturada do problema. A MCDA tem como objetivo fornecer várias opções, desde as mais preferidas até às mais preteridas, sendo escolhidas consoante o objetivo a atingir.

A aplicação da metodologia MCDA passa por um conjunto de etapas, mais ou menos aplicáveis e ajustáveis a todas as tomadas de decisão [8]:

- Estabelecer o contexto da decisão;

- Identificar as opções a serem avaliadas;
- Identificar os objetivos e os critérios;
- Avaliar cada alternativa relativamente a cada um dos critérios;
- Atribuir pesos para cada um dos critérios para refletir a sua importância relativamente à decisão;
- Obtenção do valor final de cada alternativa;
- Análise dos resultados;
- Análise de sensibilidade.

Segundo Dodgson (et al). [8] e Srdjevic (et al). [9], o modelo MCDA não é para indicar a "melhor" decisão, mas sim para ajudar os decisores de forma a que a sua tomada de decisão se adapte às suas necessidades e que seja coerente com as suas preferências e compreensão geral do problema. Normalmente, esta decisão corresponde à melhor solução consoante as restrições e não a uma solução ótima.

A MCDA é utilizada para lidar com as dificuldades que os decisores encontram quando há uma grande quantidade de informação. O princípio deste método é dividir os problemas de decisão em partes mais pequenas e compreensíveis, analisar cada parte separadamente e depois integrar as partes de uma forma lógica.

A MCDA fornece apoio para identificar componentes de um problema de tomada de decisão, organizar os elementos em estruturas hierárquicas, compreender as relações entre os componentes do problema e estimular a comunicação entre os participantes [10].

Os métodos de análise de MCDA funcionam como um suporte à tomada de decisão, apoiando na procura da melhor solução, e tendo por base as expectativas dos decisores.

Uma grande tendência presente nas pesquisas relacionadas aos métodos de MCDA é a combinação de dois ou mais métodos, pois ajuda a aplicação de um método para compensar a ausência ou deficiência de alguma técnica presente à outra, derrotada na construção de um novo modelo de análise de decisão [11].

Os métodos baseados nos princípios das técnicas MCDA podem ser classificados em quatro categorias [12]:

- **Métodos de utilidade multiatributo:** AHP e *Analytic network process* (ANP) tentam atribuir um valor de utilidade a cada alternativa. O valor da utilidade representa o grau de preferência que pode ser a base para classificação ou escolha. O AHP usa em pares comparações junto com julgamentos de especialistas para lidar com a medição de atributos qualitativos ou intangíveis. O ANP é uma teoria geral de medição de atributos intangíveis relativos.

- **Métodos de superação:** *ELimination and Choice Expressing Reality* (ELECTRE) e PROMETHEE fazem a comparação entre ações potenciais por meio de relações binárias, determinando a superação de uma alternativa em relação a outra, com base nas preferências e valores de avaliação dos tomadores de decisão.
- **Métodos de compromisso:** *Technique for order performance by similarity to ideal solution* (TOPSIS) e *VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje* (VIKOR) dizem que a solução de compromisso é a solução mais próxima do ideal, e evidencia um acordo com base em concessões mútuas.
- **Outros métodos:** *Simple Multi-Attribute Rating Technique* (SMART) e *Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL). SMART é uma técnica de classificação básica que usa o método simples de peso aditivo para obter os valores totais como o índice de classificação. DEMATEL é um modelo estrutural para analisar a relação de influência entre critérios de avaliação complexos.

2.1.1 Método PROMETHEE

O PROMETHEE I e II, foram os primeiros desta família de métodos a serem desenvolvidos por Jean-Pierre Brans, tendo sido apresentados pela primeira vez em 1982. Posteriormente, Brans e Mareschal desenvolveram PROMETHEE III (*ranking* baseado em intervalos) e PROMETHEE IV (casos de intervalos contínuos). Os mesmos autores propuseram em 1988 um módulo visual interativo (GAIA) que é um bom suporte de representação gráfica da metodologia PROMETHEE. Em 1992 e 1994, sugeriram mais duas novas extensões: PROMETHEE V (apoio à decisão multicritério com restrições de segmentação) e PROMETHEE VI (representação do cérebro humano) [13].

O método PROMETHEE é um método não compensatório, baseando-se na ordenação de um conjunto finito de ações, sendo que cada critério tem associado um determinado peso que é atribuído tendo em conta a sua importância. A estrutura de preferências do PROMETHEE é baseada em comparações de pares, considerando o desvio entre duas alternativas sobre um determinado critério. Assim sendo, quanto maior for o desvio, maior será a preferência. A preferência traduz a classificação de um critério em relação a outro e toma um valor entre 0 e 1. Assim sendo, para cada critério o tomador de decisão tem em mente uma função.

Apresentado pelo autor de [13], existem seis funções de preferência utilizadas no PROMETHEE que possibilitam ao decisor manifestar as suas preferências de forma mais oportuna a cada critério, as quais estão ilustradas na Figura 2.1, onde:

- q é um limiar ou indiferença, em que o maior desvio é considerado negligenciável pelo decisor;

- p é um limiar de preferência rigorosa, em que o menor desvio é considerado suficiente para gerar uma preferência total;
- s é um valor intermédio entre q e p .

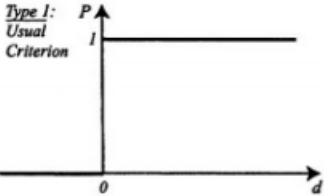
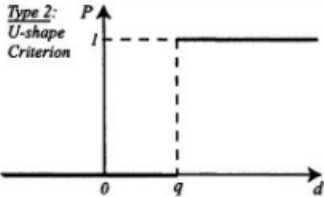
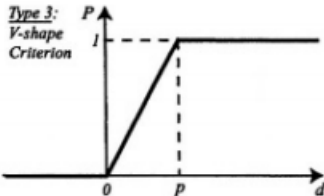
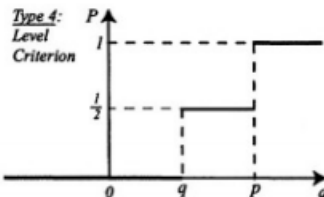
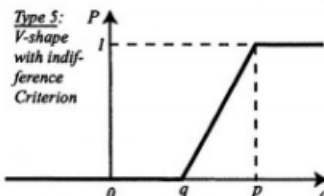
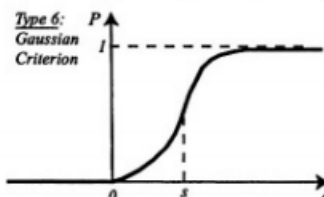
Generalised criterion	Definition	Parameters to fix
<p><i>Type 1:</i> Usual Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d > 0 \end{cases}$	—
<p><i>Type 2:</i> U-shape Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ 1 & d > q \end{cases}$	q
<p><i>Type 3:</i> V-shape Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{p} & 0 \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p
<p><i>Type 4:</i> Level Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{1}{2} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p, q
<p><i>Type 5:</i> V-shape with indif- ference Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p, q
<p><i>Type 6:</i> Gaussian Criterion</p> 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{d^2}{2s^2}} & d > 0 \end{cases}$	s

Figura 2.1: Tipos de critérios generalizados [13].

PROMETHEE I and II Rankings

Os índices de preferência agregados podem ser calculados através das seguintes fórmulas:

$$\begin{cases} \pi(a, b) = \sum_{j=1}^k P_j(a, b)w_j, \\ \pi(b, a) = \sum_{j=1}^k P_j(b, a)w_j. \end{cases} \quad (2.1)$$

onde $(a, b) \in A$, e $\pi(a, b)$ indica que se prefere a ação “a” em relação à ação “b”. sendo que $\pi(b, a)$ indica que se prefere a ação “b” em relação à ação “a”.

As propriedades seguintes são válidas para todo o conjunto (a, b) :

$$\begin{cases} \pi(a, a) = 0, \\ 0 \leq \pi(a, b) \leq 1, \\ 0 \leq \pi(b, a) \leq 1, \\ 0 \leq \pi(a, b) + \pi(b, a) \leq 1. \end{cases} \quad (2.2)$$

Sendo que:

- $\pi(a, b) \sim 0$, implica uma preferência global fraca de a sobre b,
- $\pi(a, b) \sim 1$, implica uma preferência global forte de a sobre b.

Assim que cada par de alternativas $\pi(a, b)$ e $\pi(b, a)$ do cenário A são calculados para todos os cenários, obtém-se um gráfico completo das ligações entre os mesmos, como podemos verificar na figura 2.2.

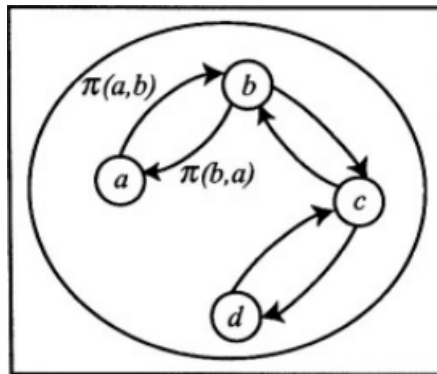


Figura 2.2: Gráfico de superação [13].

Cada alternativa a será comparada com $(n-1)$ outras alternativas em A , sendo assim definidos dois fluxos de superação, o fluxo positivo (2.3) e o fluxo negativo (3.1), sendo ambos definidos pelas seguintes formulas:

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in a} \pi(a, x) \quad (2.3)$$

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in a} \pi(x, a) \quad (2.4)$$

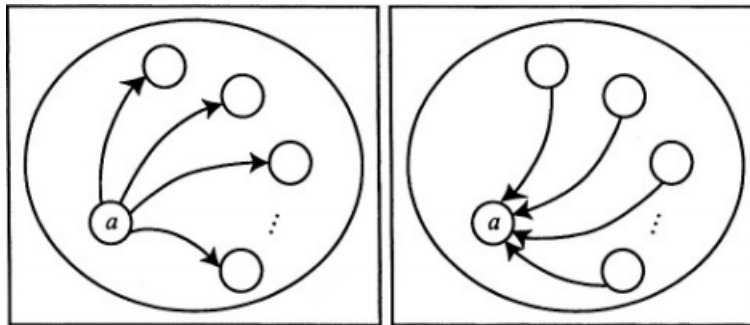


Figura 2.3: Gráfico de fluxos no critério a [13].

O fluxo positivo de superação expressa a intensidade com que uma alternativa ultrapassa todas as outras, ou seja, quanto maior o valor de $\phi^+(a)$, melhor é a alternativa (ver figura 2.3). Por outro lado, o fluxo negativo de superação mostra a intensidade com que uma alternativa é ultrapassada pelas outras, ou seja, quanto menor o valor de $\phi^-(a)$, melhor a alternativa (ver figura 2.3).

Os autores fazem distinção entre PROMETHEE I e II, sendo que essa distinção entre os 2 modelos, são o tipo de *ranking*, sendo I um *ranking* parcial de ações e o II um *ranking* completo [13].

A classificação parcial do PROMETHEE I é um indicador prudente, pois confronta os rankings dos dois fluxos $\phi^+(a)$ e $\phi^-(a)$ para produzir um *ranking* final. Caso os dois fluxos de preferência sejam classificações opostas das ações, as ações tornam-se incomparáveis [14].

O PROMETHEE II apresenta um *ranking* completo, isto significa que todas as ações são comparadas e que a classificação não inclui nenhuma incomparabilidade, mesmo quando a comparação é difícil. Esta classificação está baseada na diferença entre o fluxo positivo $\phi^+(a)$ e o fluxo negativo $\phi^-(a)$ que resulta num fluxo global ϕ , sendo que, quando maior for o valor do fluxo global, melhor é a ação [14].

PROMETHEE GAIA

O método GAIA pode ser descrito como um recurso gráfico para analisar tarefas MCDA na continuação da categoria de métodos PROMETHEE. O objetivo é descrever graficamente as principais características dos problemas de decisão, determinando se as alternativas são diferentes ou semelhantes umas das outras, quais os critérios que entram em conflito, qual o impacto da ponderação atribuída aos critérios no *ranking* obtido, entre outros aspetos [14].

O PROMETHEE GAIA é uma representação multidimensional do problema de decisão, considerando tantas dimensões k quanto os números de critérios, ou seja, o conjunto de alternativas é representado como uma espécie de nuvem de pontos (tantos pontos quanto alternativas) num espaço k dimensional. Como para um número de critérios superior a 2 é praticamente impossível obter uma visão clara da posição relativa dos pontos em relação ao critério é considerado o método matemático *Principal components analysis* (PCA) para reduzir o número de dimensões e minimizar a perda de informação na projeção deste plano [14].

O plano GAIA é a melhor representação bidimensional do problema dos multicritérios, retendo a máxima quantidade possível de informação da representação k -dimensional. Graficamente, e considerando a representação 2D, o eixo U é o primeiro componente principal que contém o máximo de informação e o eixo V , que sendo o segundo componente principal, é aquele que é responsável por fornecer informação adicional máxima ortogonal a U . Na prática, a representação 2D é considerada de confiança quando o nível de qualidade é superior a 70% [14].

Segundo Mareschal (et al). [14] as seguintes propriedades são válidas desde que seja suficientemente alto:

- Quanto mais comprido for o eixo de um critério no plano GAIA, mais discriminador será esse critério;
- Os critérios que expressam preferências semelhantes são representados por eixos orientado aproximadamente na mesma direção;
- Os critérios que expressam preferências conflitantes são orientados em direções opostas;
- Critérios que não estão relacionados entre si em termos de preferências são representados por eixos ortogonais;
- Alternativas semelhantes são representadas por pontos localizados perto de uns aos outros;
- Alternativas sendo boas em um determinado critério são representadas por pontos localizados na direção do critério correspondente eixo.

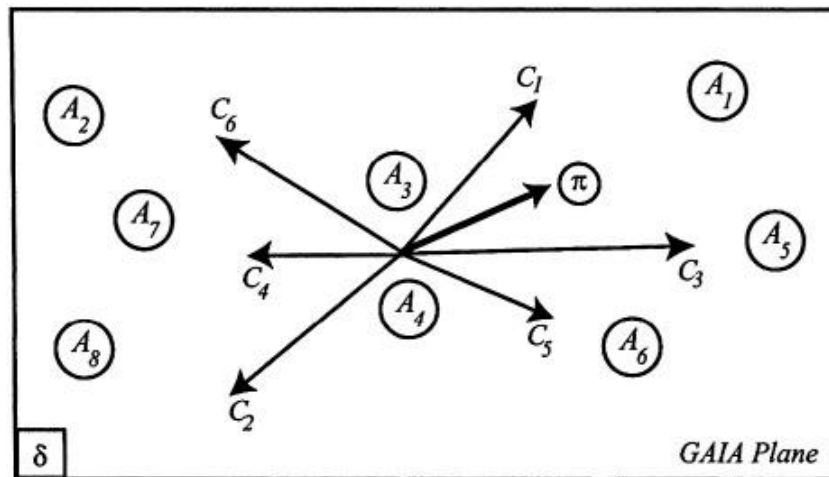


Figura 2.4: Alternativas e critérios no plano GAIA [14].

Na construção deste plano é considerado extensivamente o fluxo global de cada alternativa, que resulta do produto escalar entre o vetor dos pesos e o vetor de desempenho de cada alternativa. Ao serem projetadas as posições relativas das alternativas no espaço k -dimensional é perdida alguma informação, sendo que o nível de qualidade que o *output* menciona graficamente no canto inferior esquerdo, corresponde à quantidade de informação que, após projeção, é possível manter [14].

2.1.2 Método AHP

O AHP é um dos métodos mais conhecidos da MCDA de classificação das várias alternativas para alcançar um objetivo, baseando-se no fundamento de adição de pesos aos atributos. Esta classificação é alcançada através de uma comparação quantitativa de pares de alternativas [15].

Segundo Saaty (et al). [16], os passos envolvidos no processo do AHP passam por:

- Descrever o problema e o objetivo;
- Construir a hierarquia a partir do topo, entre os níveis intermediários até ao nível mais baixo: o problema pode e deve ser estruturado em níveis hierárquicos, de forma a facilitar a compreensão e avaliação do mesmo, sendo o primeiro nível da hierarquia correspondente ao propósito geral do problema, o segundo aos critérios e o terceiro às alternativas.

De acordo com os autores de [17], a ordenação hierárquica possibilita ao decisor ter uma visualização do sistema como um todo e seus componentes, bem como as interações destes componentes e os impactos que os mesmos exercem sobre o sistema. A figura 2.5 apresenta a estrutura hierárquica básica do método AHP;

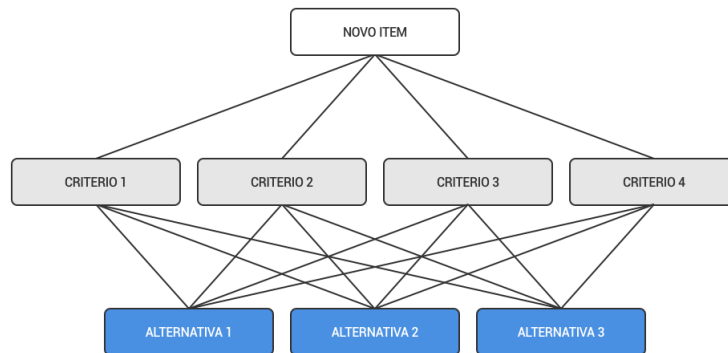


Figura 2.5: Estrutura Hierárquica do AHP [18].

- Aplicar matrizes de comparação entre pares para cada um dos níveis inferiores: onde são realizadas comparações par a par dos critérios e das alternativas, cujo objetivo é estabelecer uma importância relativa entre os elementos. De forma a poder avaliar os critérios existentes e a sua intensidade de preferência, para a interpretação da opinião do agente decisor, é utilizada a Escala fundamental de Saaty;

Tabela 2.1: Escala numérica de Saaty [16].

Intensidade da escolha	Nomenclatura	Explicação
1	igualmente importante	os dois elementos são igualmente importantes
3	moderadamente importante	um dos elementos é moderadamente importante comparando com o outro elemento
5	importante	um dos elementos é importante comparando com o outro elemento
7	muito importante	um dos elementos é muito importante comparando com o outro elemento
9	extremamente importante	um dos elementos é extremamente importante comparando com o outro elemento
2,4,6,8	valores intermédios da escala	necessário quando se pretende um nível de compromisso

Segundo Saaty (et al). [16] na elaboração das matrizes quadradas ou matrizes de decisão, onde i representa o número da linha da matriz, j as colunas e a_{ij} representa a comparação entre critérios e alternativas A_i e A_j , devem ser respeitadas as seguintes regras:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Onde, $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$ assim se $a_{ij} = k$ então $a_{ji} = \frac{1}{k}$ para todo o $k > 0$; $a_{ii} = 1$ para todo o i , ou seja, qualquer critério comparado a si próprio assume igual importância na escala fundamental.

- Conduzir testes de consistência da solução: tendo em conta o que se pode concluir se as avaliações forem suficientemente coerentes, é calculado como a relação de Rácio de Consistência (RC) e o Índice de Consistência Aleatório (IR), como indicado na equação abaixo, onde os valores do IR são obtidos da tabela. O IC é obtido através da seguinte fórmula: $\frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$, onde n é o número de elementos (critérios ou alternativas) [16].

Tabela 2.2: Método AHP: IC [16].

Ordem da matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

- Por fim, com o objetivo de estabelecer prioridades (isto é, definir um *ranking* global), usar as precedências previamente obtidas nas comparações

2.1.3 AHP-PROMETHEE

AHP é um método de tomada de decisão que pode ser usado como uma ferramenta de avaliação, que determina o grau de importância das alternativas por comparação de pares. PROMETHEE é um método de tomada de decisão superior [19].

Ambos os métodos têm pontos fortes e fracos. Segundo Baynal (et al). [19], os pontos fortes e fracos desses métodos são os seguintes:

- Já que o método AHP, trata os problemas complexos em uma hierarquia, o problema pode ser explicado claramente. Se o número de critérios exceder sete, o problema fica mais complicado no método PROMETHEE.
- Não existe um método tangível para cálculo de pesos no PROMETHEE. Este processo pode ser feito analiticamente no AHP. A importância relativa é entendida melhor por comparações de pares. No método AHP, existem muitos

subsistemas fazendo com que muito mais dados sejam trabalhados. No método PROMETHEE, é possível obter soluções com menos dados.

- No PROMETHEE I, não há perda de dados, mas no AHP e no PROMETHEE II, alguns dados podem ser perdidos, pois o processo de avaliação preocupa-se apenas com os resultados totais.
- Os resultados da solução PROMETHEE, podem ser explicados com alta visualidade. Portanto, o efeito de cada critério no resultado pode ser melhor entendido. A técnica de GAIA também ajuda a visualização dos resultados.

Esses dois métodos são integrados para melhores resultados levando em consideração os pontos acima. Segundo Baynal (et al). [19] e Turcksin (et al). [20], a abordagem AHP-PROMETHEE tem oito etapas. Estes são:

- Definição do problema;
- Definição das alternativas e dos critérios;
- Construir a árvore de decisão AHP;
- Cálculo de pesos de critérios por AHP;
- Determinar a tabela de cálculo e funções de preferência para a solução PROMETHEE;
- Classificação parcial com PROMETHEE I e classificação completa com PROMETHEE II;
- Análise visual dos resultados usando o plano GAIA;
- Análise de sensibilidade com PROMETHEE.

Os métodos de MCDA funcionam como um suporte à tomada de decisão, apoiando na procura da melhor solução, e tendo por base as expectativas dos decisores.

Nesta dissertação serão utilizados dois métodos, o método AHP e o método PROMETHEE, uma vez que trazem mais vantagens, como por exemplo, a flexível, o intuitivo e a verificação de inconsistências no método AHP e a disponibilidade de software gratuito, baseado em graus de preferência e a possibilidade de uma análise gráfica dos valores dos critérios no método PROMETHEE [21].

2.2 Veículos Elétricos

Os veículos são uma das principais causas da poluição do ar nas áreas urbanas, principalmente devido aos combustíveis fósseis produzidos ou utilizados durante a

condução dos mesmos [1]. Muitos países estabeleceram medidas para controlar o ar poluído pelos transportes, como a limitação da velocidade do veículo e a proibição de veículos mais antigos nos centros das cidades como por exemplo em Lisboa e Madrid. [22].

Os VEs surgiram no início do século XIX, sendo o norte-americano Thomas Davenport e o escocês Robert Davidson nomes dignos de registo e que mais sucesso obtiveram, utilizando baterias não recarregáveis [23, 24].

Em 1900, 28% dos carros produzidos nos Estados Unidos da América (EUA) eram movidos por uma bateria e um terço dos carros que circulavam nas estradas de Nova York, Boston e Chicago eram elétricos. Enquanto a indústria dos VEs caminhava para um futuro próspero, Karl Benz inventou o primeiro carro moderno do mundo que usava um motor de combustão em 1885 [24].

Os VEs, quando comparados com os restantes veículos em circulação, apresentavam um conjunto de características que lhes proporcionavam vantagens únicas, sendo elas a não emissão de ruídos e a inexistência das vibrações resultantes dos motores de combustão, tornando os VEs bastante atrativos para a época [3, 23, 24].

Porem, os veículos a gasolina dominaram o mercado de automóveis a nível mundial, devido a apresentarem uma maior autonomia, à necessidade da ignição por uso de manivela, fez com que estes veículos fossem mais práticos e o custo da sua produção fosse inferior ao dos VEs [23, 24].

Por volta de 1908, Henry Ford, com a apresentação do seu Ford T preto, conseguiu piorar ainda mais a frágil situação em que se encontravam os VEs. A redução dos custos de produção permitiam vender estes veículos a um preço mais acessível, fazendo com que aniquilasse por completo qualquer concorrência possível. Por volta de 1935, todas as vantagens que o VEs apresentava inicialmente, acabariam por desvanecer, abrindo portas à ascensão dos automóveis a combustíveis fósseis [23].

A partir da década de 90, a preocupação com as mudanças climáticas, em particular com o aquecimento global, fez com que os VEs reaparecessem como uma alternativa viável aos VMCs. Com os avanços tecnológicos em termos de capacidade energética em baterias, bem como regulamentações e redução de gases com efeito de estufa (GEE) em vários países, os VEs voltariam a ganhar lugar no mercado [24].

Não se pode negar que os veículos híbridos são de fato parcialmente elétricos, no entanto, eles não são iguais aos VEs e são frequentemente vistos como carros de transição entre os VMCs e os VEs, visto que têm ambas as duas fontes de propulsão [25]. Por outras palavras, as restrições e motivações encontradas pelos utilizadores nos veículos híbridos não são necessariamente as mesmas encontradas pelos utilizadores de VEs.

As motorizações a gasóleo e gasolina deixaram de ser a única opção disponível e, atualmente, são muitas as opções de veículos ecológicos.

Em seguida vai ser feita uma breve explicação dos vários tipos de veículos existentes no mercado automóvel [26]:

- Veículo com motor de combustão: Os VMCs usam combustíveis fósseis (por exemplo, gasolina ou diesel) para alimentar um motor interno a combustão. Enquanto estes são dirigidos, eles produzem ruído e emissões de exaustão que poluem o ar.
- Veículo Elétrico: Os VEs são somente movidos por um motor elétrico usando a eletricidade armazenada em baterias. As baterias devem ser carregadas regularmente através do cabo de alimentação que pode ser conectado à rede de distribuição através de tomadas de carregamento residenciais ou em pontos de carregamentos específicos. Nestes veículos não há emissão de gases poluentes, entretanto, a dependência das fontes de energia utilizadas para os carregar, podem sim ter algum impacto ambiental ao utilizá-los.

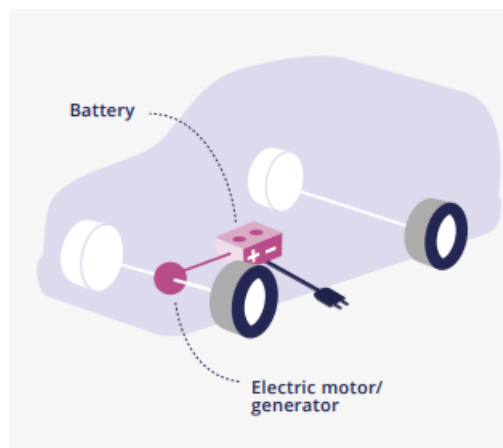


Figura 2.6: VE [26].

- Veículo Híbrido: No caso dos VHs, existem dois tipos de motor: um a combustão e outro elétrico. É o sistema do carro que gere a sua utilização para uma condução mais eficiente. A bateria destes veículos não pode ser carregada na rede de distribuição de energia, sendo estas baterias carregadas através da regeneração de energia nas travagens ou enquanto o veículo estiver parado com o motor a combustão ligado.

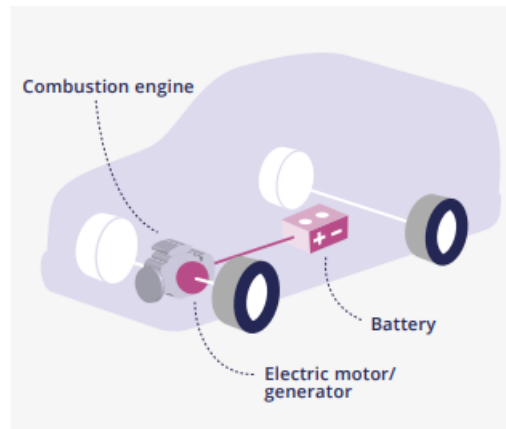


Figura 2.7: VH [26].

- Veículo Híbrido Elétrico Plug-in: Os VHEPs são movidos por um motor elétrico e um motor de combustão interna que podem operar em conjunto ou separadamente. Neste tipo de veículos as baterias podem ser carregadas na rede de distribuição através do cabo de alimentação ou através do motor de combustão interna.

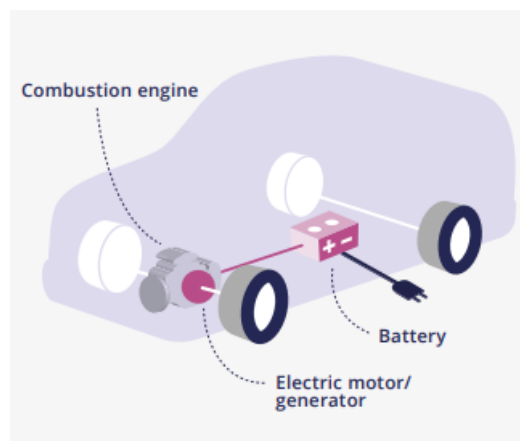


Figura 2.8: VHEP [26].

- Veículo Elétrico de Autonomia Estendida: Os VEAEs são movidos por um motor elétrico, porem, possuem um motor de combustão interna que não possui ligação com as rodas do veículo e possui a única função de carregar as baterias e por consequência, aumentar a autonomia do motor elétrico.

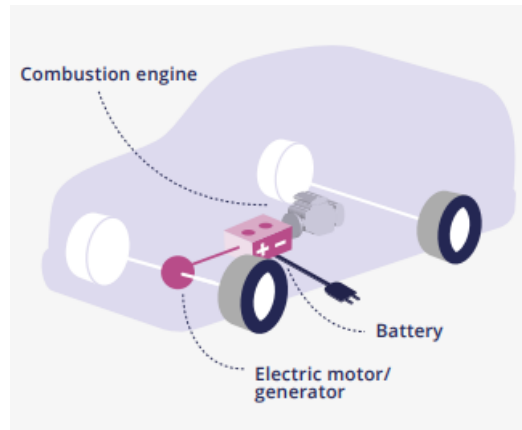


Figura 2.9: VEAE [26].

- Veículo Elétrico com Célula de Combustível: Estes veículos são propulsados por um motor elétrico, porém a energia não é armazenada em baterias, mas sim fornecida por uma célula de combustível alimentada por um tanque de hidrogênio que combinado com o oxigênio proveniente do ar, gerando energia através de uma reação química.

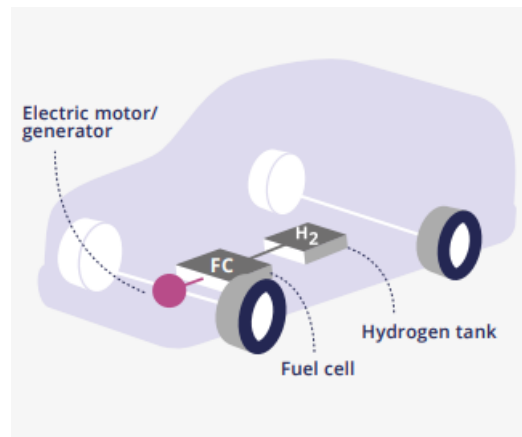


Figura 2.10: VECC [26].

Na figura 2.11, podemos observar a comparação simples entre um VE e um VMC.

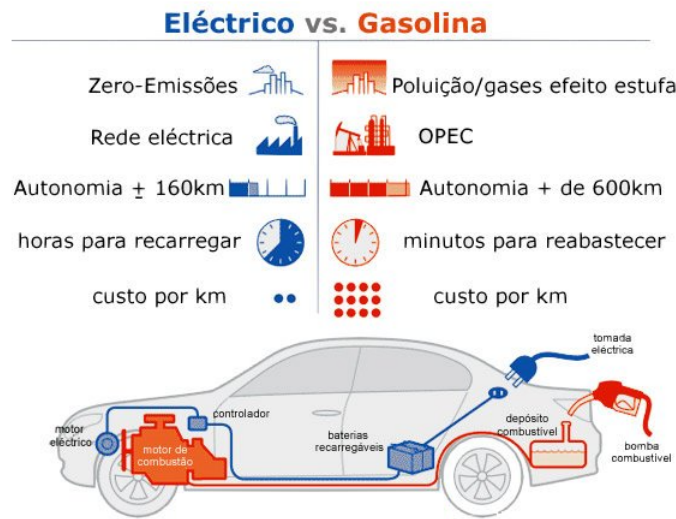


Figura 2.11: Comparação entre um VE e um VMC [27].

Atualmente o consumo de VE aumenta consideravelmente em todo o mundo, registando um aumento de 41% apesar da queda mundial relacionada à pandemia nas vendas de automóveis, em que as vendas globais de automóveis caíram 16% [28].

A resiliência das vendas de VE em face da pandemia baseia-se em três pilares principais [28]:

- Estruturas regulatórias de apoio: Mesmo antes da pandemia, muitos países estabeleceram políticas importantes, como padrões de emissões de Dióxido de Carbono (CO₂) e mandatos de Veículos com emissão zero (VEZ). No final de 2020, mais de 20 países anunciaram proibições nas vendas de VMCs ou determinaram que todas as novas vendas fossem VEZ.;
- Incentivos adicionais para salvaguardar as vendas de VEs da crise econômica: Alguns países europeus aumentaram os incentivos de compra;
- O número de modelos VE expandiu e o custo da bateria continuou a diminuir.

Atualmente o consumo de VEs aumenta consideravelmente em todo o mundo. Apesar da Europa muito se esforçar a China ganha cada vez mais. Através da figura 2.12 pode-se concluir que cerca de 48% dos VEs estão na China, enquanto a Europa possui 29% e os Estados Unidos 16%. Esses números demonstram a falta de distribuição de VEs pelo mundo, estando 93% dos VEs concentrados nestas regiões. Portanto, em termos totais a China lidera o *ranking* de países com maior quantidade de VEs e VHEPs, no entanto, é importante considerar a enorme população da China [28].

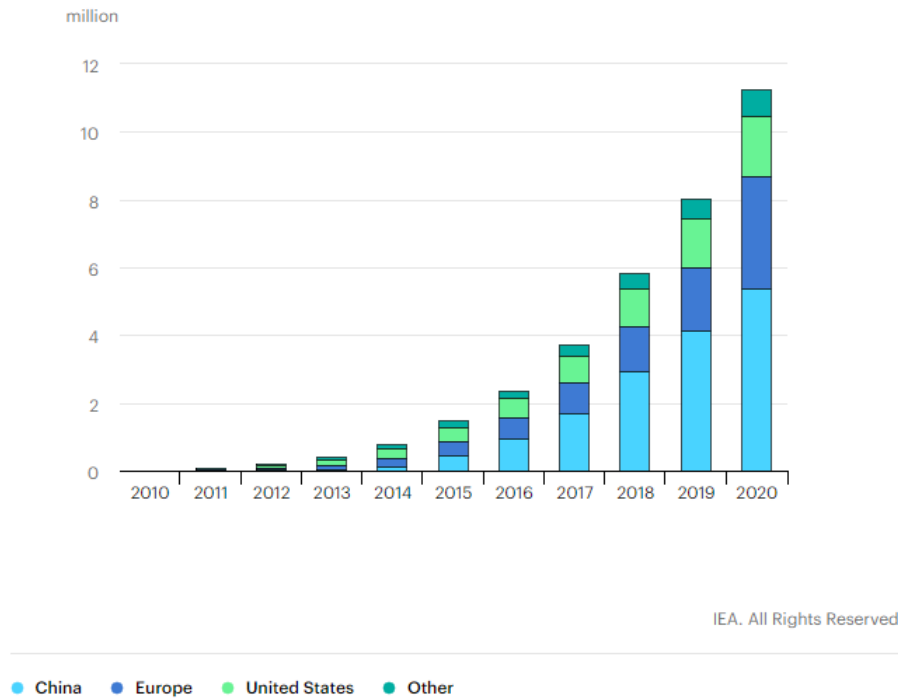


Figura 2.12: Stock global de VEs por região [28].

2.2.1 Vantagens e Desvantagens da Utilização de um VE

A presente secção tem como objetivo estabelecer uma comparação entre as principais vantagens e desvantagens decorrentes da aquisição e utilização do VE.

As vantagens que esse sistema traz para o utilizador e a sociedade são fundamentais para nosso futuro, como por exemplo:

- **Zero emissões:** A baixa emissão de poluição, talvez seja a grande vantagem dos VEs visto que não emitem gases, tornando-os amigos do ambiente. A preocupação com as emissões CO₂ tem vindo a aumentar, e a prova disso, está no volume de vendas deste tipo de veículo. Ainda assim, não é considerada na análise destes automóveis os custos resultantes da poluição durante a produção dos mesmos [29].
- **Maior eficiência:** Os VEs têm a maior eficiência energética de todos os veículos de sistemas de propulsão, normalmente capazes de converter cerca de 80% ou mais da energia armazenada na bateria em movimento. O motor elétrico é particularmente eficiente, e a travagem regenerativa fornece mais ganhos de eficiência. A travagem regenerativa ajuda a manter a bateria de um VE carregado, convertendo em eletricidade grande parte da energia que normalmente seria perdida como calor através da travagem tradicional [26].

- **Veículo silencioso:** Os VEs funcionam muito silenciosamente, especialmente quando funcionam totalmente com a energia da bateria, fazendo com que a poluição sonora diminua bastante, mas por outro lado, pode ser perigoso uma vez que não se ouve o veículo a deslocar-se [30].
- **Manutenção:** Comparando com os VMCs, os VEs não precisam de óleo, isso significa que não haverá mais trocas de óleo. Além disso, os VEs estão isentos de qualquer outra manutenção e reparos associados a um VMC, a não ser da manutenção dos travões do mesmo [29].
- **Incentivos à aquisição:** Como foi falado anteriormente, quem adquirir um VE tem direito a alguns incentivos monetários ou fiscais para promover a sua aquisição, visto que este vem a melhorar o ambiente do planeta [31, 32].

Por outro lado, quando falamos em pontos negativos dos VEs, todos eles ainda têm relação com a maturidade do desenvolvimento desses sistemas. Alguns das desvantagens do VE estão detalhadas em seguida:

- **Autonomia:** Embora as marcas estejam a descobrir cada vez mais maneiras de fazer os VEs irem mais longe, eles ainda têm um alcance menor do que os VMCs. No entanto, isto é algo que tem vindo a ser melhorado com o tempo e, hoje, os VEs têm uma autonomia bastante superior [31].
- **Tempo de carregamento das baterias:** Encher um tanque de gasolina pode demorar até três minutos no posto de gasolina, enquanto recarregar a bateria de um VE leva muito mais tempo. Dependendo do modelo, um VE às vezes pode levar até 20 horas para carregar totalmente. É possível efetuar carregamentos rápidos que carregam grande parte da bateria em cerca de 20/30 minutos, no entanto estes postos de carregamento em Portugal ainda são bastante reduzidos e longe das grandes cidades [30].
- **Bateria:** Por norma, a bateria é a componente mais cara num veículo elétrico. Durante a utilização das baterias num veículo elétrico é onde estas sofrem o maior desgaste. Uma bateria alimenta de forma instantânea o funcionamento do motor, no momento de arranque, em acelerações e ao manter a velocidade. Em média, os fabricantes determinam uma vida útil mínima de 10 anos. Como o custo de troca das baterias é bem alto, muitos fabricantes têm investido no aumento da vida útil para, pelo menos, 20 anos [33].
- **Preço:** A grande desvantagem dos VEs são o seu preço de aquisição, apesar de a longo prazo se vir a poupar. As baterias também têm de ser adquiridas e trocadas ao fim de algum tempo, no entanto as baterias podem ser alugadas em vez de compradas e o investimento inicial compensa com o que se poupa a longo prazo, por exemplo, em combustível e manutenção [29, 31].

2.2.2 VEs em Portugal

Portugal possui atualmente cerca de 80.000 VEs e VHs em circulação. Ao contrário das vendas de VMCs, sejam a gasolina ou a gasóleo, que registaram uma queda de 26.5%, as vendas de VEs e VHs, registaram um crescimento homólogo de 49.6% em julho de 2021 [34].

Na figura 2.13 podemos observar as vendas dos VEs bem como dos VHs e comparar com as vendas dos mesmos nos anos de 2019 a 2021.

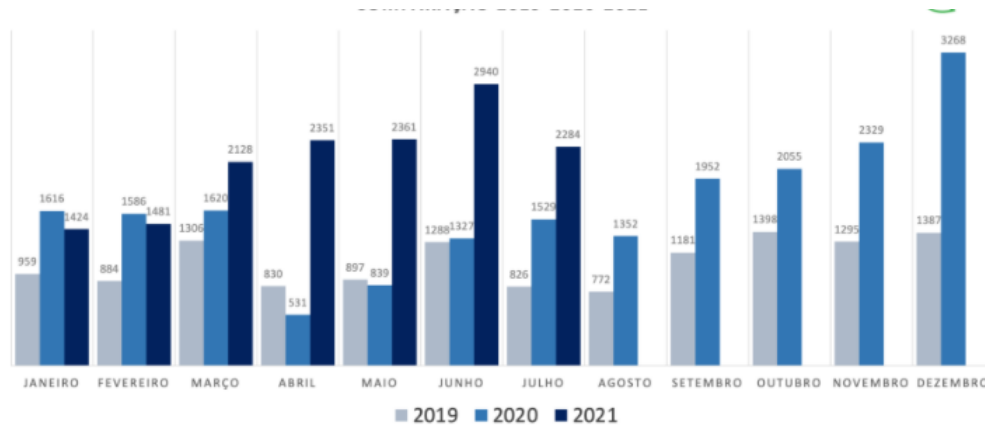


Figura 2.13: Vendas dos VE e VHEP no mês de julho de 2021 [34].

Também se fomos comparar a evolução da quantidade de VE e de VHEP (ambos com capacidade de carregamento em pontos de carregamento) em Portugal observamos que a infraestrutura não acompanhou o crescimento da demanda no país nos últimos anos [35].

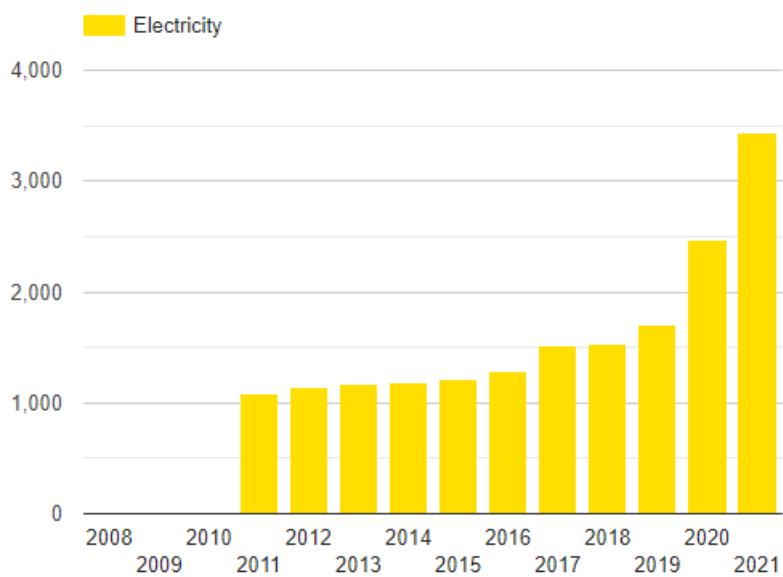


Figura 2.14: Número total de infraestruturas por tipo de combustível [35].

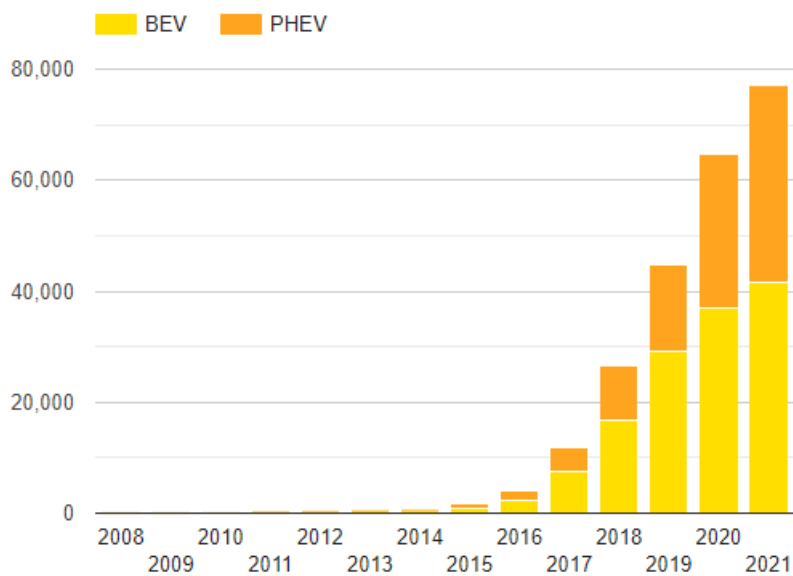


Figura 2.15: Frota total de automóveis de passageiros por combustível alternativo [35].

O Incentivo pela Introdução no Consumo de Veículos de Baixas Emissões é um compromisso do Fundo Ambiental desde 2017 que pretende dar continuidade à implementação de medidas de aceleração da apropriação de energias de tração alternativas e ambientalmente mais favoráveis, como a tração 100% elétrica [36].

Atualmente, os benefícios tributários para os proprietários de VEs em Portugal são [36, 37, 38, 39]:

- Os compradores particulares de VEs novos cujo custo de aquisição seja inferior a 62.500€ podem ser elegíveis para obter um incentivo de 3.000€; Para as empresas, têm um incentivo de € 6.000 na compra de um veículo leve de mercadorias.
- Isenção de Imposto Sobre Veículos (ISV): Os veículos estão atualmente isentos do pagamento de ISV, pelo facto de serem 100% elétricos e sem emissões poluentes. No caso dos VEs estão isentos do pagamento de ISV em 60% e 25% para VHEPs;
- Isenção do Imposto Único de Circulação (IUC): Os VEs estão isentos do pagamento de IUC. As restantes opções pagam este imposto, embora o valor possa ser inferior ao de um VMC.
- Dedução de Imposto sobre o valor acrescentado (IVA): Atualmente, as empresas com VEs e VHEPs podem deduzir em sede de Imposto sobre o Rendimento de Pessoas Coletivas (IRC) a totalidade do IVA da eletricidade usada para carregar estes veículos. Para além disso, existe a possibilidade de dedução do IVA nas despesas de aquisição, locação e transformação com VEs ou VHEPs, sendo que o custo de aquisição não pode exceder os seguintes valores: 62.500 euros para VEs e de 50.000 Euros para VHEPs.

2.2.3 VEs pelo Mundo

Esta seção visa identificar as principais medidas que têm sido adotadas por diversos países para incentivar a aquisição de VEs. Procura-se efetuar uma comparação entre as várias realidades, contrapondo países dos mais desenvolvidos do mundo, como os EUA, a Alemanha, e países claramente afetados por uma situação económica grave, como o caso português [40].

Atualmente, os benefícios tributários para os proprietários de VEs nos respetivos países são:

França

A França é conhecida pela sua dedicação à eletrificação. O atual presidente Emmanuel Macron anunciou recentemente um plano de resgate para a indústria automobilística local e estabeleceu uma meta de ter mais de 100.000 pontos de carregamento públicos no ano de 2021, produzindo 1 milhão de EVs anualmente até 2025 e aumentando as taxas de adoção de VEs num futuro próximo. Aqui está uma visão geral dos principais incentivos [40, 41]:

- Concessão de compra (bônus ecológico): Um bônus de até € 7.000 para veículos que emitem 20g CO₂/km ou menos e que custem menos de € 45.000 ou um bônus de até € 2.000 para VHEP que emitem entre 21g-50g CO₂/km que custem menos de € 50.000.
- Esquema de sucata (bônus de conversão): até € 5.000 para a compra de segunda mão ou novos VEs e VHEPs para se livrar do seu carro a diesel (anterior a 2001) ou a gasolina (anterior a 1997).
- Bônus de zona de baixa emissão: € 1.000 de subsídio para a compra de um VE se morar ou trabalhar numa zona de baixa emissão.
- Taxa de registro: tanto os VEs como os VHEPs têm direito a um desconto de 50% ou estão totalmente isentos do pagamento do registro da placa, dependendo da região.
- Até 40% dos custos de compra e instalação de pontos de carregamento de VE para empresas.

Alemanha

A Alemanha oferece alguns dos incentivos de VE mais generosos da Europa, já que o país está seriamente empenhado em alcançar seus objetivos de ter 10 milhões de VEs e 1 milhão de estações de recarga até 2030. Aqui está tudo o que você precisa saber [40, 42]:

- Concessões de compra: Para VEs com preços até € 40.000 têm um desconto de até € 9.000. Se forem VHEPs têm um desconto de até € 6,750. Para VEs com preços até € 65.000 têm um desconto de até € 7.500. Se forem VHEPs têm um desconto de até € 5,625.
- Até 2030, um subsídio único de até 50% dos custos de compra de VEs usados para entregas comerciais.
- O uso privado de um VE com um preço de tabela abaixo de € 60.000 é tributado em apenas 0,25% do preço de tabela por mês.
- Os VEs matriculados entre 2011 e 2030 têm isenção de 10 anos desse imposto.

Italia

Em maio de 2019, a Itália retificou um programa de Ecobônus. O programa Ecobônus visa reduzir as emissões líquidas a zero até 2050 e determina que os VEs devem substituir os VMCs até 2035 ou antes. Aqui estão os incentivos atualizados [40, 43] :

- Subsídios até € 6.000 para a compra ou aluguer de um novo VE na categoria M1 (automóveis de passageiros até 8 pessoas) com uma classificação de emissão de CO₂ de até 20 g/km para particulares e empresas.
- Subsídios até € 3.500 para veículos que emitem entre 21 e 60 g/km (VHEP) para particulares e empresas.
- Esses bônus podem aumentar para € 10.000 e € 6.500 (respectivamente) se você se livrar de um VMC.
- Imposto de propriedade: os compradores de VEs ou VHs gozam da isenção do imposto de registro anual por cinco anos após a compra do veículo. Após este período de cinco anos, beneficiam de uma redução de 75% da taxa de imposto equivalente para a maioria dos VMCs.
- Particulares, empresas e condomínios podem ter acesso a uma nova dedução fiscal de 50% no valor total máximo de € 3.000, para os custos de aquisição e instalação de carregadores de VE.

Noruega

A Noruega lidera a corrida de VEs na Europa devido ao seu compromisso de longa data desde a década de 1990 com a promoção de VEs. Com um plano original de ter 100.000 VEs nas estradas até 2020, a Noruega ultrapassou esse número em 2018. Na verdade, quase 60% de todos os carros novos vendidos na Noruega em março de 2019 eram VEs. Curiosamente, o programa de incentivos do país não inclui muitos subsídios para VEs e carregadores de VEs, mas, em vez disso, oferece cortes de impostos e investimentos pesados em infraestruturas de carregamentos de VEs administradas publicamente, como veremos a seguir [40]:

- Imposto de compra e IVA: Sem imposto de compra e sem IVA na compra de VEs.
- Imposto rodoviário anual: corte de imposto de 75-90% para o imposto rodoviário anual para VEs e VHEPs.
- Imposto sobre veículos da empresa: 50% de desconto no imposto sobre veículos da empresa para VEs e VHEPs.

Espanha

A Espanha introduziu o seu primeiro programa alternativo de incentivo à mobilidade em 2017 e o seu lugar na corrida de VE só foi fortalecido desde então. Em 2019, foi lançado o programa, MOVES, com a missão de promover os VEs e infraestruturas de carregamento em Espanha. No ano de 2020, dois novos planos de automóveis, Moves II e Renove, foram apresentados para renovar e estender as medidas para impulsionar a adoção de VE. Aqui estão os principais incentivos [40]:

- Subsídios Moves II: Concessões para a compra ou aluguel de um VE, VHEP ou VEAE:
 - Veículo de passageiros (preço de tabela até € 45.000):
 - * Faixa de 30-90 km: € 1.900, aumentando para € 2.600 se você livrar seu carro antigo
 - * Alcance de 90 km ou mais: € 4.000, aumentando para € 5.500 se você livrar seu carro antigo
 - Veículo leve de mercadorias (até 3,5 toneladas):
 - * Alcance de 30 km ou mais: € 4.400, aumentando para € 6.000 se você livrar seu veículo antigo
- Subsídios Renove: Concessões para a compra ou aluguel de um VE:

- Veículo passageiro:
 - * VE ou VEAE: € 4.000 (preço máximo de tabela: € 45.000)
 - * VHEP (alcance de 40 km ou mais): € 2.600 (preço máximo de tabela: € 45.000)
 - * VHEP (alcance inferior a 40 km) ou VH:
 - Classificação energética A: € 1.000 (preço máximo de lista: € 35.000)
 - Classificação energética B: € 600 (preço máximo de lista: € 35.000)
 - * Benefícios adicionais:
 - € 500 se o carro que você descarta tiver 20 anos ou mais
 - € 500 se a sua renda familiar for inferior a € 1.500 por mês
- Benefícios fiscais de registro: nenhum imposto de registro para VEs.
- Benefícios fiscais de propriedade: isenção ou redução do imposto rodoviário dependendo das políticas locais. Por exemplo, alguns conselhos municipais (incluindo Madrid, Barcelona, Saragoça e Valência) optaram por reduzir o imposto anual de circulação (imposto de propriedade) para VEs e com baixo consumo de combustível em até 75%.
- Os particulares e empresas podem obter subsídios Moves II de até 30-40% dos custos de aquisição e instalação (até um montante total de € 100.000) para o desenvolvimento de infraestruturas de carregamento públicas e privadas.

Reino Unido

O Reino Unido é um dos poucos governos que possui uma estratégia abrangente para eletrificação, com um Escritório oficial para VEZ e uma estratégia de eletrificação chamada estratégia Road to Zero. O VEZ e outros departamentos do governo que trabalham na estratégia têm como objetivo acabar com a venda de VMCs até 2040 usando políticas que abrangem veículos comerciais, transporte público, infraestrutura de carregamento e muito mais. Aqui estão os principais incentivos [40]:

- Concessão de compra: com a Concessão de Carro Plug-in, os compradores podem receber até 35% do custo de um VE (até um máximo de £ 3.000 dependendo do modelo)
- Imposto sobre a propriedade: os VEs com um custo inferior a £ 40.000 estão isentos do imposto rodoviário anual.

- Imposto sobre automóveis da empresa: as empresas que compram VEs podem descontar 100% do preço de compra contra suas obrigações fiscais corporativas se o veículo não emitir mais de 50g/km de CO₂. Os VHEPs que emitem menos de 50g/km de CO₂ têm seu imposto sobre veículos corporativos fixado em 16%.
- Escócia: O governo escocês oferece um empréstimo sem juros para apoiar os motoristas que mudam para um VE ou VH. Empréstimos de até £ 35.000 para cobrir o custo de aquisição de um novo VE/VH, reembolsados num período de 6 anos.
- Irlanda do Norte: Um subsídio máximo de € 5.000 está disponível para VEs comprados de forma privada e um subsídio máximo de € 3.800 para aqueles comprados comercialmente.
- O *Electric Vehicle Home Charge Scheme* (OZEV) permite que os compradores individuais de VEs elegíveis recebam um subsídio de até 75% (limitado a £ 350, incluindo IVA) dos custos totais de compra e instalação de um carregador de VE para sua casa e o custos de instalação associados.
- O Workplace Chargepoint Grant é um esquema baseado em voucher que fornece os custos iniciais para a compra e instalação de pontos de carregamento de VE nos locais de trabalho.

Estados Unidos

De acordo com a U.S. Energy Information Administration, cerca de 90% da energia consumida no transporte dos EUA vem do petróleo. O setor de transporte também é a principal fonte de emissões de GEE nos EUA, sendo responsável por 29% dos GEE do país. Embora as motivações entre os legisladores estaduais variem, muitos estados estão trabalhando para diversificar a mistura de combustíveis do setor de transporte e reduzir as emissões, incentivando o uso de combustíveis alternativos, incluindo eletricidade, gás natural, hidrogênio e biocombustíveis. Para conseguir isso, muitos estados implementaram incentivos para promover a adoção de VEs. [44].

O presidente Joe Biden está priorizando uma rede nacional de carregamento de VE, prometendo ter pelo menos 500.000 dos dispositivos instalados nos EUA até 2030. A administração Biden está lançando um plano para estimular o desenvolvimento e adoção de VEs que inclui dinheiro para reformar fábricas e aumentar o fornecimento doméstico de materiais, incentivos fiscais para compradores de VE e programas de concessão e incentivo para infraestrutura de carregamento [45].

- Compre e instale uma estação de carregamento ChargePoint VE e as empresas poderão receber um crédito fiscal de 30% até 30.000 [46].

-
- O crédito de imposto federal dos EUA dá aos utilizadores 30% de desconto em uma estação de recarga de VEs mais os custos de instalação (até \$ 1.000) [46].
 - Um crédito de imposto está disponível para a compra de um novo VHEPs qualificado. O valor mínimo de crédito é de \$ 2.500, e o crédito pode ser de até \$ 7.500, com base na capacidade da bateria de tração de cada veículo e na classificação do peso bruto do veículo. O crédito começará a ser eliminado para cada fabricante no segundo trimestre após o trimestre civil em que um mínimo de 200.000 VHEPs qualificados foram vendidos por aquele fabricante para uso nos EUA [46].

Capítulo 3

Aplicação da metodologia de análise multicritério - Resultados/Discussão

Este capítulo tem como função aplicar os conceitos explicados no capítulo anteriormente. Para isso, numa primeira etapa será identificado e estruturado o problema, identificando os critérios que serão utilizados para indicar qual o VE que trará mais benefícios para o utilizador. Em seguida, numa segunda etapa, serão utilizados os métodos AHP e PROMETHEE para a determinação do mesmo.

3.1 Definição dos critérios de decisão

Os diversos critérios envolvidos devem ser considerados simultaneamente e facilmente estarão em conflito uns com os outros, logo, precisam ser selecionados e avaliados adequadamente. Há dificuldade em se organizar e sintetizar cada informação, por isso, há necessidade de ter uma ferramenta que auxilie nessa tomada de decisão e que permita que os decisores se sintam mais confortáveis e confiantes nas mesmas. Assim, essa ferramenta torna-se uma forma fundamental de apoio à tomada de decisão [47].

O MCDA é um conjunto de métodos e abordagens (quantitativa e qualitativa) que procura ordenar os vários critérios explícitos, os quais possuem, cada um, uma

importância relativa distinta, sendo assim, atribuídos pesos diferentes [47].

Para a escolha dos critérios, fez-se várias pesquisas sobre os vários modelos de VEs, e definiu-se os critérios mais importantes na escolha de um VE, sendo eles o **preço**, o **consumo por 100 km**, a **autonomia**, o **conforto**, a **marca**, a **segurança** e a **tecnologia**.

Para ajudar o decisor a determinar o peso de cada critério, fez-se um questionário através do "google forms" para saber qual é o critério de escolha para adquirir um VE.

Pela figura 3.1, podemos verificar que o preço e a autonomia são os dois critérios mais importantes na escolha de um VE.

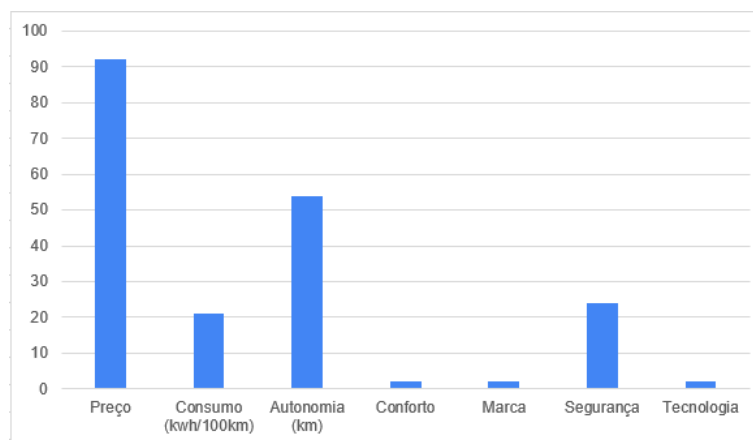


Figura 3.1: Gráfico das respostas do questionário.

Ao segmentarmos por idades, na figura 3.2 pode-se concluir que independentemente da idade, o preço é o critério mais importante para as pessoas que responderam ao questionário.

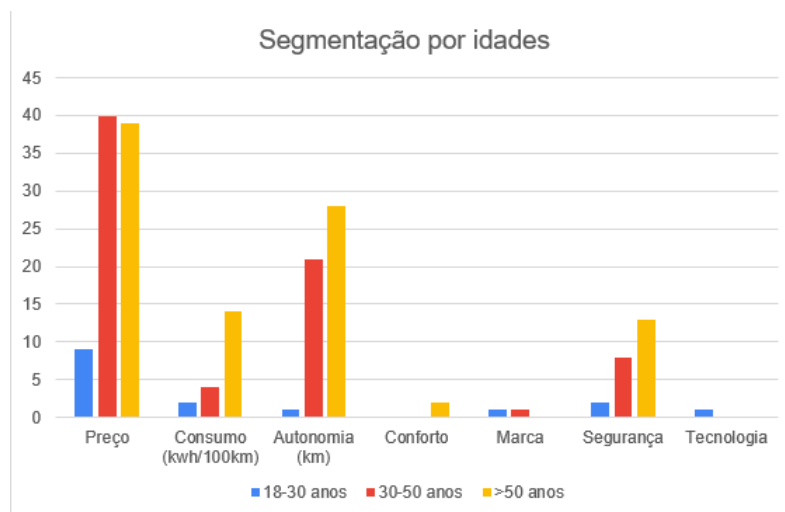


Figura 3.2: Gráfico das respostas do questionário.

Será interessante também calcular o grau de confiança. Uma vez que não foi feito nenhum estudo prévio, o tamanho da população será o número de habitantes em Portugal. Para o cálculo do grau de confiança, será aplicada a fórmula 3.1:

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 * 0,25}{E^2} \quad (3.1)$$

Onde:

- n - Número de indivíduos na amostra.
- $Z_{\alpha/2}$ - Valor crítico que corresponde ao grau de confiança desejado.
- E - Margem de erro.

Sabendo o número de indivíduos na amostra sendo ele de 200 pessoas, e assumindo uma margem de erro de 5%, ao aplicar a fórmula 3.1, o grau de confiança vai ser de aproximadamente 84% [48].

Uma vez que os critérios qualitativos são critérios subjetivos, os mesmos foram substituídos por critérios quantitativos, uma vez que são mais fáceis de mensurar. Desta forma, os critérios **conforto**, a **marca**, a **segurança** e a **tecnologia**, foram substituídos pelos critérios **volume de carga**, a **capacidade da bateria**, a **potência** e a **performance**.

Portanto, os VEs com uma autonomia de pelo menos 150 km, consumo de energia não superior a 250 Wh/km e preço abaixo dos 50.000€ são considerados nesta pesquisa, visto que, parecem valores razoáveis para um utilizador que queira trocar o seu VMC por um VE. Os veículos em questão e suas características são apresentados na seguinte tabela 3.1.

Tabela 3.1: Definição dos critérios [49].

Modelo	Tipo de veículo	Autonomia WLTP (km)	Potência (kW)	Preço (€)	Custo de utilização doméstica (€)	Capacidade da bateria (kWh)	Volume de carga (L)	Performance (km/h)
Renault ZOE	Pequeno	395	100	36490	8,32	52	338	140
VW ID.3 Pro	Médio	420	107	36749	9,28	58	385	160
Nissan Leaf e+	Médio	385	160	38550	8,96	56	420	157
Opel Corsa e	Pequeno	330	100	30115	7,2	45	309	150
Peugeot e-208	Pequeno	339	100	32420	7,2	45	265	150
Peugeot e-2008	SUV	330	100	36470	7,2	45	434	150
Kia e-Niro	SUV	405	150	41750	10,24	64	451	167
Skoda Enyaq	SUV	362	109	39214	8,32	52	585	160
Opel Mokka-e	SUV	322	100	35405	7,2	45	350	150
Hyundai Kawai	SUV	484	159	41055	10,24	64	332	167
Hyundai Ioniq EV	Médio	311	100	40580	6,13	38,3	356	165
DS 3 Crossback E-Tense	SUV	320	100	42200	7,2	45	350	150
Tesla Model 3 Standard Range	Médio	448	239	50900	8,16	51	542	225
Volvo XC40 Recharge	SUV	418	300	49357	1,2	75	419	180
Dacia Spring Electric	SUV	230	33	16800	4,29	26,8	300	125
Seat Mii Electric	Pequeno	260	61	21000	5,17	32,3	251	130
VW e-up	Pequeno	260	61	22824	5,17	32,3	250	130
Mini Cooper SE	Médio	233	135	34750	4,62	28,9	211	150
Mazda MX30	SUV	200	105	36240	4,8	30	366	140
Kia e-Soul	SUV	407	100	37000	6,27	39,2	315	157
Citroen e-C4	SUV	330	100	36107	7,2	45	380	150
BMW i3	Médio	260	125	42200	6,06	37,9	260	150

Serão agora detalhados em termos de definição e escala, os critérios anteriormente referidos [50, 51, 52]:

- **Tipo de veículo:** Apesar de este critério não ser incluído no software pois é difícil de determinar a sua qualidade, este critério é um ponto importante pois os veículos são concebidos para diferentes necessidades e exigências e assim cumprirem com determinadas funções para cada utilizador.
- **Autonomia Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure (WLTP):** O WLTP pretende fornecer condições de teste uniformes e mais realistas para estimar o consumo de energia e, a autonomia dos VEs com maior precisão. É de notar que os valores podem variar dependendo de vários fatores como o estado da bateria, controlo de climatização, manutenção, comportamento de condução e fatores não técnicos como as condições meteorológicas, estrada atual, etc.
- **Potência:** A potência é a capacidade de um motor de executar uma tarefa em um determinado tempo. Mais potência significa menos tempo.
- **Preço:** Este critério de natureza quantitativa, refere-se ao valor monetário que o utilizador irá dar na troca de um VE neste caso.
- **Custo de utilização doméstica:** Este critério refere-se ao custo que o utilizador irá ter no carregamento doméstico do seu VE. Neste critério temos de ter em conta que irá depender das condições contratuais que tenha estabelecido com o seu comercializador de energia.
- **Capacidade da bateria:** Cada bateria, ou unidade de armazenamento, tem uma quantidade de armazenamento específica. Por exemplo, se um carro tem a capacidade de 100 kWh, isto significa que é capaz de oferecer 100 kW de energia durante uma hora.
- **Volume de carga:** Este critério refere-se à quantidade em litros que a mala do veículo consegue ocupar.
- **Performance:** Este critério refere-se à velocidade máxima que o veículo consegue atingir.

3.2 Aplicação do método AHP

No topo da estrutura hierárquica encontra-se o objetivo principal, a seleção do melhor VE. No segundo nível da estrutura encontra-se os sete critérios mais relevantes para o processo da escolha, e por último, no terceiro nível encontra-se os diversos modelos de VEs.

Definidas as hierarquias, é necessário proceder à comparação aos pares num total de sete critérios do segundo nível em relação ao primeiro nível hierárquico. Para esta comparação é utilizada a escala fundamental de Saaty referida na secção 2.2.2.

Nesta fase o objetivo é estabelecer a importância relativa de cada critério no objetivo a cumprir. Existindo apenas um elemento no primeiro nível hierárquico, procede-se à construção de apenas uma matriz com o intuito de medir o grau de intensidade por pares segundo os sete critérios (Tabela 3.2).

De seguida, é normalizada a matriz anterior igualando todos os critérios à mesma unidade, dividindo cada valor da matriz pelo total da respetiva coluna. Desta forma, através do cálculo do valor médio é obtido o peso atribuído a cada critério, ou seja, a importância relativa que cada critério tem na seleção do melhor VE (Tabela 3.3).

Tabela 3.2: Matriz de comparações entre pares dos critérios em relação ao objetivo.

Modelo	Autonomia WLTP (km)	Potência (kW)	Preço (€)	Custo de utilização doméstica	Capacidade da bateria (kWh)	Volume de carga (L)	Performance (km/h)
Autonomia WLTP (km)	1						
Potência (kW)	1/9	1	1/9	3	1	2	9
Preço (€)	3	9	1	3	5	5	1
Custo de utilização doméstica	1/3	3	1/3	1	2	2	5
Capacidade da bateria (kWh)	1/3	1	1/5	1/2	1	1/2	3
Volume de carga (L)	1/4	1/2	1/5	1/2	2	1	3
Performance (km/h)	1/9	1	1/9	1/5	1/3	1/3	1
Soma	5,14	26,5	2,29	8,53	14,33	14,83	31

Conforme podemos ver na figura 3.3, o critério "Preço" e "Autonomia" serão os critérios que mais impacto terão no objetivo. Esta análise vem de acordo com o questionário feito, e das matrizes anteriormente feitas.

Peso relativo de cada critério

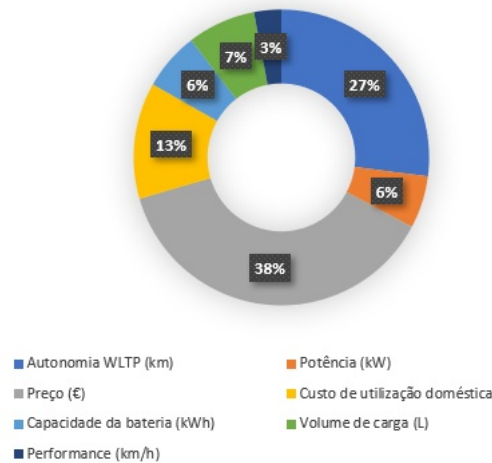


Figura 3.3: Peso relativo de cada critério.

O próximo passo é a realização do teste de consistência das comparações elaboradas, procurando-se aferir se as avaliações efetuadas estão relacionadas de uma forma lógica. Para tal, é primeiramente calculado o elemento que corresponde à maior importância (λ_{max}) que é obtido através da soma dos produtos do vetor coluna (w_n), obtido na Tabela 3.2, com o vetor soma da matriz, obtida na Tabela 3.3.

$$\lambda_{max} = 5,139 \times 0,272 + 24,5 \times 0,055 + 2,289 \times 0,38 + 8,533 \times 0,126 + 14,333 \times 0,064 + 14,833 \times 0,073 + 31 \times 0,03 = 7,618$$

Procedeu-se de seguida ao cálculo do Índice de Consistência (IC) e do Rácio de Consistência (RC). Estando em causa 7 critérios, então n assume este valor:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{7,618 - 7}{7 - 1} = 0,103$$

Sendo a ordem da matriz de valor 7, então, consultando a tabela 2.2 apresentada na secção 2.1.2, o valor de IR será de 1,32.

$$RC = \frac{IC}{IR} = \frac{0,103}{1,32} = 0,078 < 0,10$$

Desta forma, sendo $RC < 0,10$, então pode-se concluir que as comparações feitas são coerentes.

3.3 Aplicação do método PROMETHEE

Para cálculos no modelo PROMETHEE foi utilizado o programa Visual PROMETHEE.

Antes da introdução dos critérios e alternativas no visual PROMETHEE, deve-se definir para cada critério parâmetros ainda não definidos. Esses parâmetros são o tipo da função objetivo, se é para maximizar ou minimizar, bem como o tipo de método PROMETHEE a usar e, caso exista, o ou até os pontos de decisão dos mesmos. O peso de cada um dos critérios foi utilizado o que foi calculado através do método AHP explicado na secção anterior.

Tabela 3.4: Definição geral dos critérios.

Critério	Peso do Critério	Min/Max	Tipo	Pontos
Preço (€)	38%	Min	Linear	Q=0,03; P=0,25
Autonomia WLTP (km)	27,2%	Max	Linear	Q=62; P=151
Custo de utilização doméstica	12,6%	Min	Linear	Q=1,67; P=3,96
Volume de carga (L)	7,3%	Max	Linear	Q=79,38; P=183,71
Capacidade da bateria (kWh)	6,4%	Max	Linear	Q=10,42; P=24,76
Potência (kW)	5,5%	Max	Linear	Q=59,02; P=115
Performance (km/h)	3%	Max	Linear	Q=20,55; P=40,87

A primeira etapa do processo é a definição dos vários critérios da análise, bem como as alternativas, sendo que os critérios quantitativos serão avaliados segundo a sua escala numérica e os critérios qualitativos serão avaliados segundo uma escala de 5 ou 7 pontos ou pode mesmo mudar-se o tamanho da escala.

Após a definição de todas estas características do modelo, é importante definir a função de preferências. Esta função de preferências especifica a importância do desvio na avaliação entre cada par de alternativas, dentro de cada critério. Foi utilizada a ajuda da metodologia para a decisão sobre qual a função que melhor se adaptava ao caso em estudo. O tipo de função utilizado foi o linear para todos os critérios, pois uma pouca diferença no valor do critério é considerado insignificante. A nível dos valores de *thresholds*, o próprio programa dá-nos os valores de *thresholds* que melhor se encaixam.

The figure displays four sequential screenshots of the 'Preference Function Assistant' dialog box, illustrating the steps to define a preference function for the 'Preço' (Price) criterion.

Step 1: Summary of Criterion Data

Criterion:	Preço	Evaluated on a currency scale
Minimum value:	€ 16.800,00	Average value: € 39.008,92
Maximum value:	€ 83.038,00	
Range:	€ 66.238,00	Standard deviation: € 12.497,86

This criterion is to minimize.
 PROMETHEE relies on the principle of pairwise comparison of the actions.
 We will thus look at the differences between the evaluations of the actions.
 Here are some statistics:

Minimum (> 0) difference:	€ 20,00	Average difference: € 12.704,49
Maximum difference:	€ 66.238,00	Standard deviation: € 12.828,53
Diversity:	95,7 %	

If these data are correct and you wish to setup the right preference function for this criterion, please press the "Next >" button. Otherwise, press "Cancel".

Step 2: Selection of Preference Function Type

Please answer the following question:
 When comparing two actions on this criterion, do you feel that this difference is negligible: € 20,00

Yes
 No

Suggested type: Linear, Usual, V-shape, U-shape, Level, Linear, Gaussian

Selected type: Linear

Step 3: Pairwise Comparison of Cases

Let us compare two actions A and B on this criterion.

Case 1: A = € 16.800,00 - B = € 30.047,60
 Much more important in case 1
 Much more important in case 2

Case 2: A = € 69.790,40 - B = € 83.038,00
 Not so different

In both cases you should prefer A. But do you feel that your preference is:

Based on your selection, percentage (variable) thresholds seem appropriate. You can change the selection below if you wish to do so.

Threshold type:
 Absolute
 Percentage

Step 4: Setting Indifference and Preference Thresholds

Q: Indifference threshold
 Selection: € 0,03 Suggested: € 0,03

P: Preference threshold
 Selection: € 0,25 Suggested: € 0,25

Visual representation of the preference function: A graph showing a linear increase from the indifference threshold (€ 0,03) to the preference threshold (€ 0,25), followed by a constant value.

Figura 3.4: Passos na definição da Função de Preferência.

Com a recolha de informação terminada, foi introduzida toda essa informação no programa *Visual PROMETHEE* conforme a figura 3.5. Em coluna constam os critérios e em linha as alternativas disponíveis. Desta forma, é disposto um conjunto de 7 critérios e 22 modelos de VEs, tal como apresentado na figura 3.5 .

	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Carros eletricos	autonomia	Potencia	Preço	Custo de utili...	Capacidade ...	Volume de c...	Performance
Unit	km	kW	€	€	kWh	L	km/h
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences							
Min/Max	max	max	min	min	max	max	max
Weight	27,20	5,50	38,00	12,60	6,40	7,30	3,00
Preference Fn.	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	62	59,02	€ 0,03	€ 1,67	10,42	79,38	20,55
- P: Preference	151	115,00	€ 0,25	€ 3,96	24,76	183,71	40,87
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics							
Minimum	200	33,00	€ 16.800,00	€ 4,29	26,80	211,00	125,00
Maximum	484	300,00	€ 50.900,00	€ 12,00	75,00	585,00	225,00
Average	339	120,18	€ 36.280,73	€ 7,33	45,80	357,68	154,68
Standard Dev.	75	56,20	€ 7.950,68	€ 1,96	12,25	90,57	19,96
Evaluations							
<input checked="" type="checkbox"/> renault zoe	395	100,00	€ 36.490,00	€ 8,32	52,00	338,00	140,00
<input checked="" type="checkbox"/> VW ID.3 pro	420	107,00	€ 36.749,00	€ 9,28	58,00	385,00	160,00
<input checked="" type="checkbox"/> Nissan leaf e+	385	160,00	€ 38.550,00	€ 8,96	56,00	420,00	157,00
<input checked="" type="checkbox"/> Opel Corsa e	330	100,00	€ 30.115,00	€ 7,20	45,00	309,00	150,00
<input checked="" type="checkbox"/> Peugeot e-208	339	100,00	€ 32.420,00	€ 7,20	45,00	265,00	150,00
<input checked="" type="checkbox"/> Peugeot e-2008	330	100,00	€ 36.470,00	€ 7,20	45,00	434,00	150,00
<input checked="" type="checkbox"/> Kia e-niro	405	150,00	€ 41.750,00	€ 10,24	64,00	451,00	167,00
<input checked="" type="checkbox"/> Skoda Enyaq	362	109,00	€ 39.214,00	€ 8,32	52,00	585,00	160,00
<input checked="" type="checkbox"/> Opel mokka-e	322	100,00	€ 35.405,00	€ 7,20	45,00	350,00	150,00
<input checked="" type="checkbox"/> Hyundai Kauai	484	159,00	€ 41.055,00	€ 10,24	64,00	332,00	167,00
<input checked="" type="checkbox"/> Hyundai Ioniq EV	311	100,00	€ 40.580,00	€ 6,13	38,30	356,00	165,00
<input checked="" type="checkbox"/> DS 3 Crossback ...	320	100,00	€ 42.200,00	€ 7,20	45,00	350,00	150,00
<input checked="" type="checkbox"/> Tesla model 3 st...	448	239,00	€ 50.900,00	€ 8,16	51,00	542,00	225,00
<input checked="" type="checkbox"/> Volvo xc40 recha...	418	300,00	€ 49.357,00	€ 12,00	75,00	419,00	180,00
<input checked="" type="checkbox"/> Dacia Spring Eletric	230	33,00	€ 16.800,00	€ 4,29	26,80	300,00	125,00
<input checked="" type="checkbox"/> Sea mii eletric	260	61,00	€ 21.000,00	€ 5,17	32,30	251,00	130,00
<input checked="" type="checkbox"/> VW e-up	260	61,00	€ 22.824,00	€ 5,17	32,30	250,00	130,00
<input checked="" type="checkbox"/> Mini cooper se	233	135,00	€ 34.750,00	€ 4,62	28,90	211,00	150,00
<input checked="" type="checkbox"/> Mazda mx30	200	105,00	€ 36.240,00	€ 4,80	30,00	366,00	140,00
<input checked="" type="checkbox"/> Kia e-soul	407	100,00	€ 37.000,00	€ 6,27	39,20	315,00	157,00
<input checked="" type="checkbox"/> Citroen e-c4	330	100,00	€ 36.107,00	€ 7,20	45,00	380,00	150,00
<input checked="" type="checkbox"/> Bmw i3	260	125,00	€ 42.200,00	€ 6,06	37,90	260,00	150,00

Figura 3.5: Introdução das características do caso de estudo no PRO-METHEE.

3.3.1 PROMETHEE rankings

Parcial - PROMETHEE I

Como anteriormente referido na secção 2.1.1, o PROMETHEE I confronta os dois *rankings* obtidos (o ϕ^+ e o ϕ^-), incluindo apenas as preferências que são asseguradas em ambos os *rankings*. Graficamente, na barra central são classificadas as alternativas de acordo com os valores do ϕ^+ , enquanto na barra lateral direita é estabelecido um *ranking* de acordo com os valores do ϕ^- . Na barra lateral esquerda do gráfico é apresentada uma barra vertical que informa o valor do fluxo global ϕ que é explorado posteriormente com mais detalhe no PROMETHEE II.

Nas figuras 3.6 e 3.7, verifica-se que o modelo Dacia Spring Eletric e o Seat mii eletric são os melhores em termos de ϕ^+ , mas em termos de ϕ^- o modelo Opel Corsa-e e o Peugeot e-208 apresentam os melhores valores. Estes valores dão-se, pois, os modelos Dacia Spring Eletric e o Seat mii eletric apresentam melhores valores no critério preço, mas "perdem" no critério autonomia relativamente aos modelos com melhor ϕ^- , pois é o critério com maior peso, tendo uma autonomia superior de 100 km.

Podemos verificar também, que o modelo DS 3 Crossback e-tense e o modelo BMW i3 são representados como os piores modelos, uma vez que, nos critérios mais revelantes apresentam valores menos favoráveis que os restantes modelos, como por exemplo o preço que é bastante elevado comparado com os outros e apresentam uma autonomia inferior aos mesmos.

Comparando com a tabela onde os critérios se encontram determinados, é visível que, comparando os modelos Opel Corsa-e e o Dacia Spring Eletric, os critérios onde são díspares são apenas no preço, sendo o custo no modelo Dacia Spring Eletric inferior em cerca de 45% comparativamente com o custo do modelo Opel Corsa-e, critério esse que tem atribuído um peso maior (38%).

Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	Opel Corsa e	0,2458	0,3707	0,1249
2	Dacia Spring Electric	0,2159	0,4491	0,2332
3	Peugeot e-208	0,2148	0,3598	0,1449
4	Sea mii electric	0,2116	0,4083	0,1967
5	VW e-up	0,1751	0,3902	0,2152
6	Opel mokka-e	0,1311	0,3126	0,1816
7	Citroen e-c4	0,1157	0,3065	0,1909
8	VW ID.3 pro	0,0702	0,3317	0,2614
9	renault zoe	0,0673	0,3015	0,2342
10	Peugeot e-2008	0,0601	0,2843	0,2242
11	Mini cooper se	0,0397	0,3531	0,3134
12	Kia e-soul	0,0363	0,2888	0,2525
13	Nissan leaf e+	-0,0274	0,2642	0,2916
14	Skoda Enyaq	-0,0368	0,2667	0,3035
15	Hyundai Kauai	-0,0450	0,3312	0,3762
16	Mazda mx30	-0,0732	0,2980	0,3712
17	Tesla model 3 standard	-0,1102	0,2985	0,4087
18	Kia e-niro	-0,1494	0,2405	0,3899
19	Hyundai Ioniq EV	-0,1937	0,1590	0,3528
20	Volvo xc40 recharge	-0,2111	0,2643	0,4753
21	DS 3 Crossback e-tense	-0,3244	0,0763	0,4007
22	Bmw i3	-0,4124	0,0682	0,4805

Figura 3.6: Tabela de fluxo.

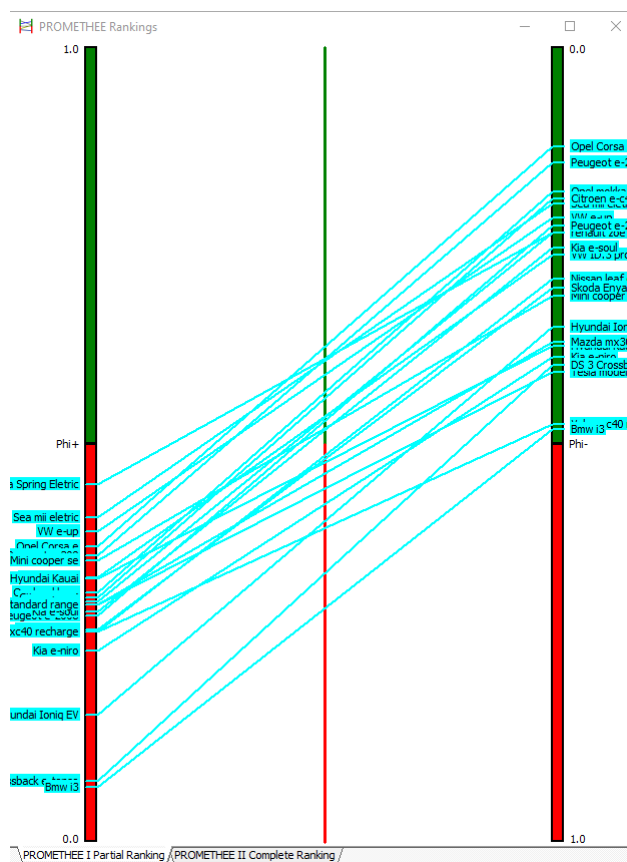


Figura 3.7: PROMETHEE I – ranking parcial.

Completo - PROMETHEE II

Sendo mais intuitivo que o PROMETHEE I, este *ranking* tem a desvantagem de fornecer menos informação, não considerando a incomparabilidade entre critérios.

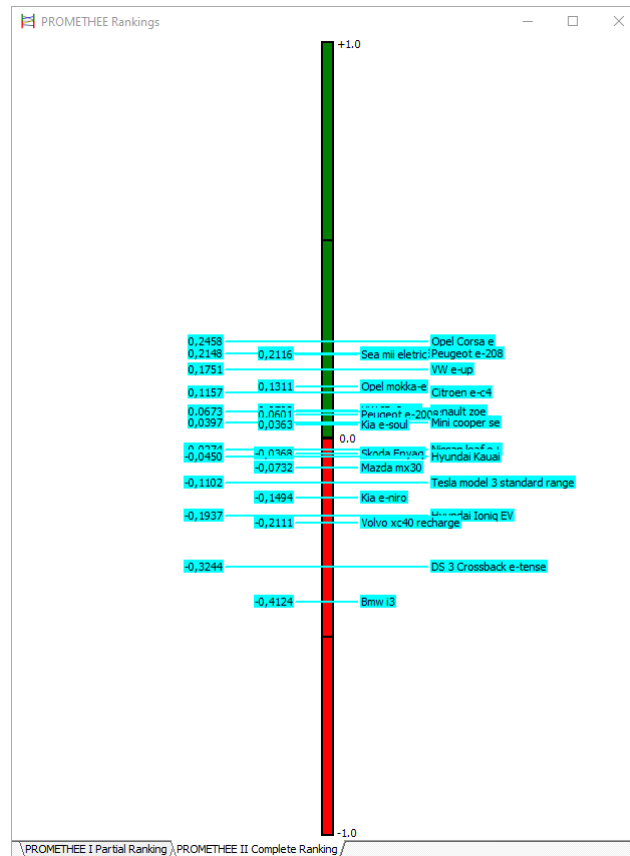


Figura 3.8: PROMETHEE II – *ranking* completo.

Assim, e como expectável, o PROMETHEE II confirma as conclusões obtidas na análise anterior, bem como na tabela de fluxo, onde o modelo que melhor corresponde aos requisitos é o modelo Opel Corsa-e, seguindo o modelo Dacia Spring Eletric, e assim sucessivamente, terminando com o modelo BMW i3.

PROMETHEE GAIA

Tal como mencionado anteriormente na seção 2.1.1, o PROMETHEE GAIA é a melhor representação bidimensional do problema multicritério, proporcionando informação relativamente às alternativas, critérios e pesos dos critérios.

Um primeiro aspeto a considerar é o facto da representação 2D obtida ter um nível de qualidade de 84,2%, o que significa que é confiável.

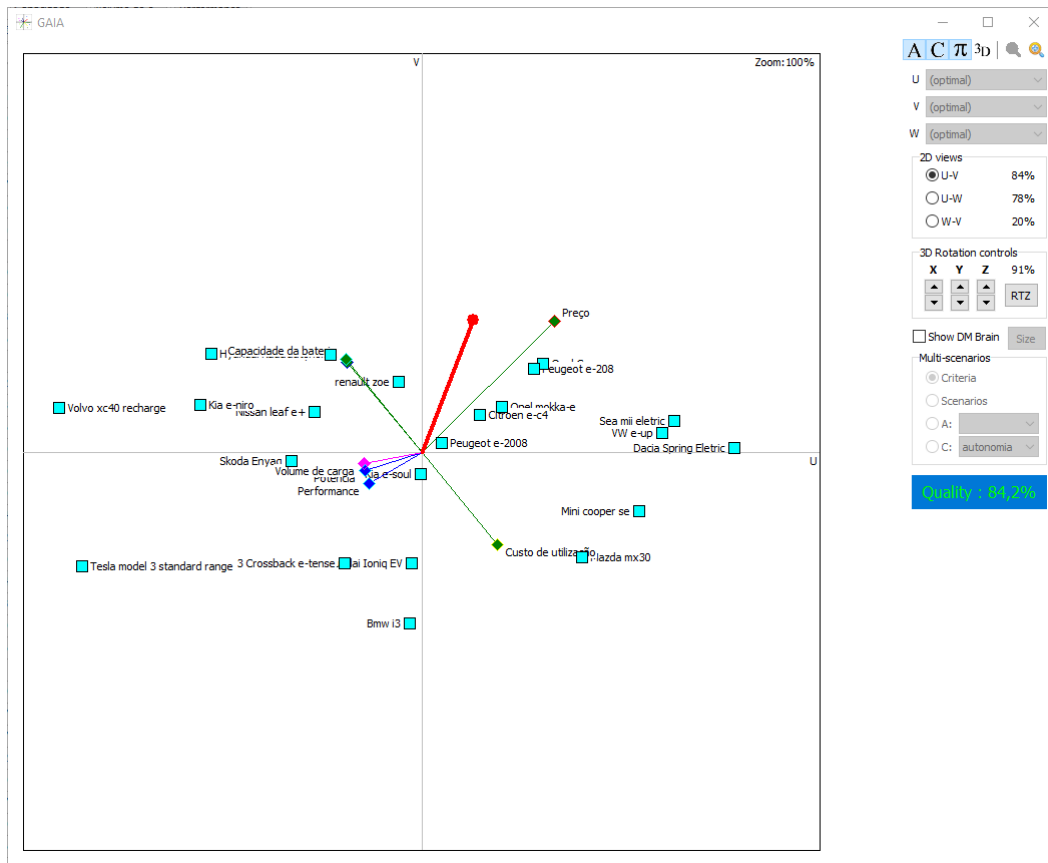


Figura 3.9: PROMETHEE GAIA.

- **Alternativas**

Relativamente às alternativas, estas serão similares quanto mais próximas estiverem, e vice-versa. Analisando o gráfico obtido, os modelos Opel Corsa-e e o modelo Peugeot e-208 encontram-se muito próximos um do outro, sendo consideradas ações com características similares. Podemos verificar também que existem outros modelos com características similares, como por exemplo, o modelo VW e-up e Seat mii electric e o Dacia Spring Electric, entre outros.

Contudo, o modelo Tesla model 3 standard range, encontra-se isolado dos restantes modelos, visto que é o modelo que apresenta o maior valor no critério preço.

- **Critérios**

Quanto aos critérios, estes são representados por eixos desenhados a partir do centro, onde critérios com uma preferência análoga serão representados por eixos orientados em direções similares. Por outro lado, os critérios com preferências divergentes ou que entram em conflito são retratados por eixos com direções opostas.

Neste caso, verifica-se que o critério preço aparecendo isolado, assinala que entra em conflito com alguns critérios, como por exemplo a performance e a potência. Isto deve-se ao facto de que os modelos que apresentam valores maiores no preço, tendem a apresentar uma potência maior bem como a performance.

Pode-se concluir assim que neste caso, o eixo que representa os critérios capacidade da bateria e autonomia exibem a mesma orientação, estando estes critérios muito próximos, indicando que assumem um comportamento semelhante, ou seja, é factualmente comprovado quando, por exemplo, os modelos que apresentam uma maior capacidade da bateria apresentam simultaneamente uma maior autonomia.

Quanto ao critério do custo de utilização aparecendo isolado, assinala que entra em conflito com os critérios capacidade da bateria e autonomia. Isto deve-se ao facto de que os modelos que apresentam valores maiores no critério do custo de utilização, tendem a apresentar uma autonomia e uma capacidade da bateria maior.

- **Alternativas vs Critérios**

Neste caso, a orientação do eixo do critério indica qual a melhor alternativa para o respetivo critério. Desta forma, não é tão significativo o quão afastada uma alternativa se encontra de um eixo, mas sim o modo como esta se projeta na direção do eixo.

Analisando o critério preço, já que este é aquele que mais pesa na escolha do melhor modelo, verifica-se que o modelo Dacia Spring Eletric é aquele que se encontra mais alinhado com a orientação do eixo deste critério, posicionando-se mais à direita, demonstrando que este modelo é o melhor classificado neste critério. Contudo, os modelos Tesla model 3 standard range e o Volvo XC40 recharge, praticando os preços mais elevados, encontram-se na orientação oposta a este critério e ao mesmo tempo mais distante.

Se analisarmos ao pormenor todos os critérios, pode-se concluir que os modelos DS 3 Corsssback e-tense, BMW i3, Hyundai Ioniq EV e o Volvo XC40 recharge encontram-se mais distantes de todos os critérios e em direções distintas à dos eixos dos critérios que têm um peso maior.

Para concluir a análise deve também ser considerado o eixo de decisão que corresponde ao eixo vermelho mais espesso presente na figura 3.10. Este eixo é semelhante a uma média ponderada dos eixos de critérios, sendo útil para detetar critérios que estejam sob ou sobrestimados. O eixo representa a direção do compromisso, ao levar em consideração a perceção dos decisores na importância relativa dos critérios (ou seja, os pesos dos critérios).



Figura 3.10: PROMETHEE GAIA com o eixo do critério “Preço” evidenciado.

O eixo de decisão revela que as melhores alternativas são o modelo Opel Corsa-e, de seguida o Dacia Spring Electric, Peugeot e-208.

3.3.2 Análise da Sensibilidade

O *Walking Weight* fornece várias ferramentas para concretizar uma análise extensiva de sensibilidade de peso em cada critério. O gráfico divide-se em duas partes:

- A parte superior é um gráfico de barras que mostra o *ranking* completo do PROMETHEE II que, tal como mencionando anteriormente, é baseado no fluxo global ϕ ;
- A parte inferior é um gráfico de barras com os pesos dos critérios.

Uma análise de estabilidade de peso mais precisa e completa pode ser feita recorrendo simultaneamente ao *Visual Stability Intervals*.

A janela *Visual Stability Intervals* permite verificar o impacto na análise ao modificar os pesos dos critérios. Mostra como o valor do fluxo global ϕ altera em função do peso de cada critério.

Graficamente, a barra horizontal corresponde ao peso do critério selecionado, enquanto que, a barra vertical a vermelho e verde representa o valor do fluxo global ϕ . Para cada ação é assinalada uma linha que mostra o valor de ϕ em função do peso do critério.

Adicionalmente, existem duas linhas verticais a tracejado que indicam o intervalo de peso para o qual, o *ranking* inicialmente obtido permanece inalterado, sendo detalhadamente determinado no canto inferior direito com o *Weight Stability Interval* (WSI). Desta forma, quanto maior a amplitude de um intervalo mais estável é o *ranking* a uma variação dos pesos atribuídos a cada critério. Assim, quanto mais estável se apresentar, mais segurança permitirá ao decisor para fazer a tomada de decisão.

Tal como mostra a figura 3.11, considerando a ponderação inicial atribuída a cada critério, confirma-se que os modelos Opel Corsa-e e o Dacia Spring Electric estão nos primeiros lugares do *ranking*, com um fluxo global bastante positivo. Seguindo-se o modelo Peugeot e-208 e o Seat mii electric não estando muito longe.

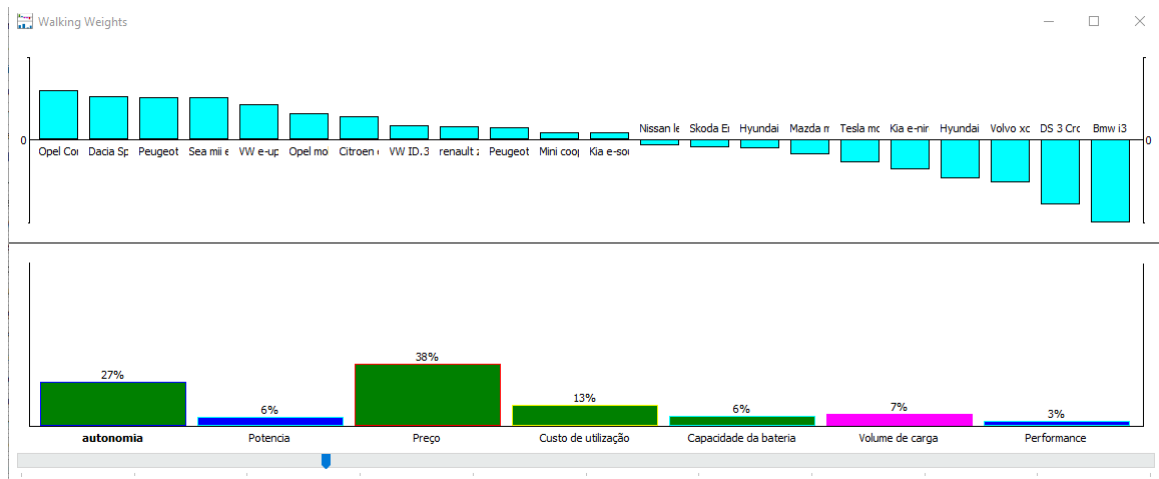


Figura 3.11: *Walking weight* – visão inicial.

• Autonomia

Segundo os dados da figura 3.12, ao alterar o peso da autonomia para 60%, os modelos que sofreram grandes alterações foram o Hyundai Kauai e o Tesla model 3 standard range. Os modelos que inicialmente se apresentavam como as melhores opções, passaram a representar um fluxo global para valores negativos.

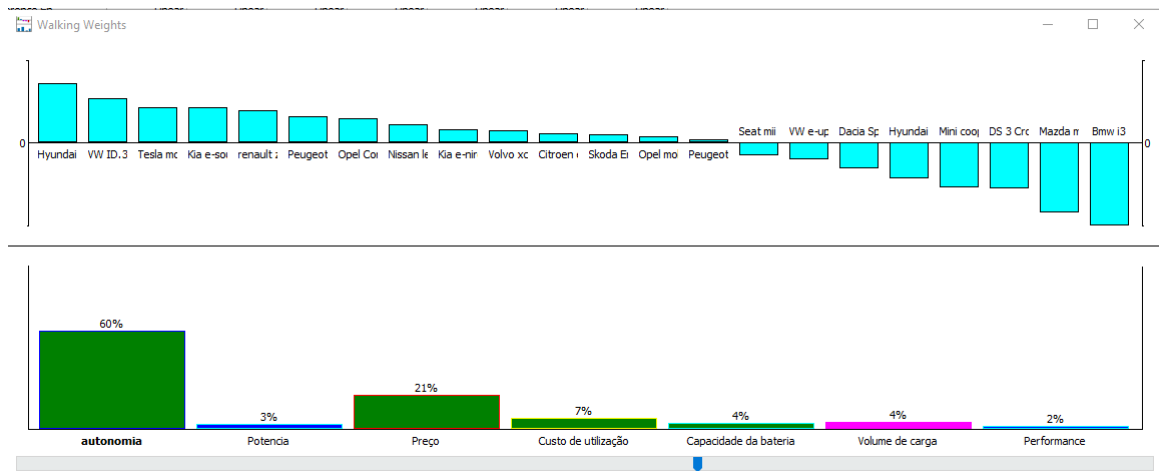


Figura 3.12: *Walking weight* com peso da autonomia a 60%.

Na figura 3.13 da janela *Visual Stability Intervals*, podemos confirmar a mesma conclusão, que o modelo Hyundai Kauai e o modelo Tesla model 3 standard range seriam os modelos que mais beneficiariam com o aumento deste critério, uma vez que apresentam um valor maior no critério autonomia.

Por outro lado, o modelo que menos beneficiaria com o incremento do peso atribuído seria o modelo Mazda mx30, uma vez que este modelo evidencia uma autonomia menor que os outros modelos.

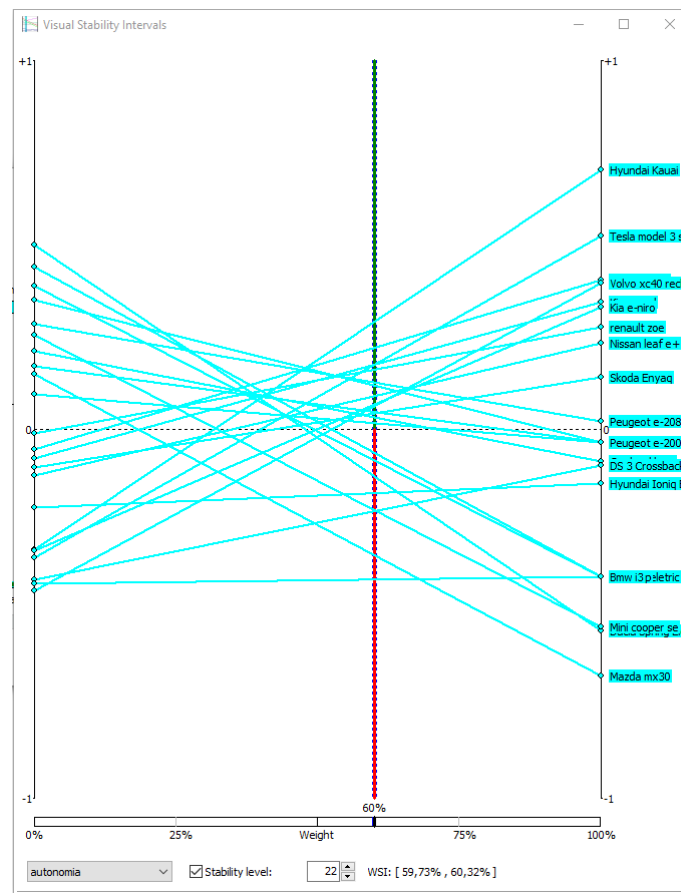


Figura 3.13: *Visual Stability Intervals* – Autonomia.

- **Preço**

Se for reestruturado o peso do preço para 70%, tal como apresentado na figura 3.14, os modelos que sofreram grandes alterações foram os modelos que apresentam um preço menor. Os modelos que inicialmente apresentavam como melhores opções não alteraram muito, havendo trocas nas primeiras cinco escolhas.

De notar também, que os modelos que apresentam um preço maior, viram o seu fluxo global a diminuir ainda mais e a passarem para o fim do gráfico.

Na figura 3.15 da janela *Visual Stability Intervals*, podemos confirmar o mesmo, que os modelos que iriam sofrer as alterações seriam os modelos que apresentam um preço menor.

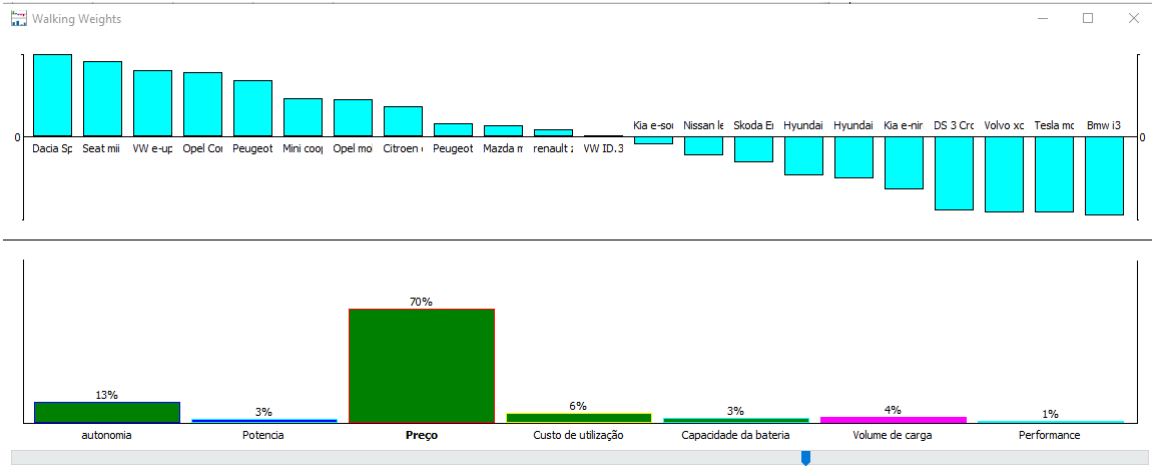


Figura 3.14: *Walking weight* com peso do preço a 70%.

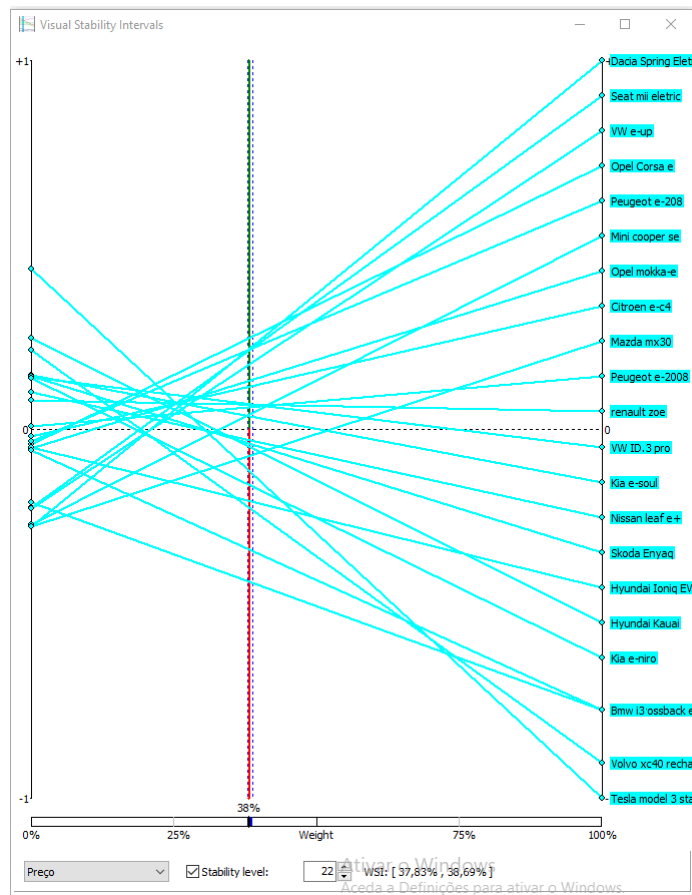


Figura 3.15: *Visual Stability Intervals* – Preço.

- **Custo de utilizacao**

Se for reestruturado o peso do custo de utilização para 30%, tal como apresentado na figura 3.16, os cinco modelos que apresentavam ser as melhores opções, não existe muita variação entre eles, passando o modelo Dacia Spring Electric como a melhor opção, uma vez que o modelo apresenta o custo de utilização menor.

É de notar também, que o modelo Volvo XC40 recharge ao ser o modelo que apresenta o custo de utilização maior, é o modelo que apresenta o fluxo global mais negativo de todos os modelos.

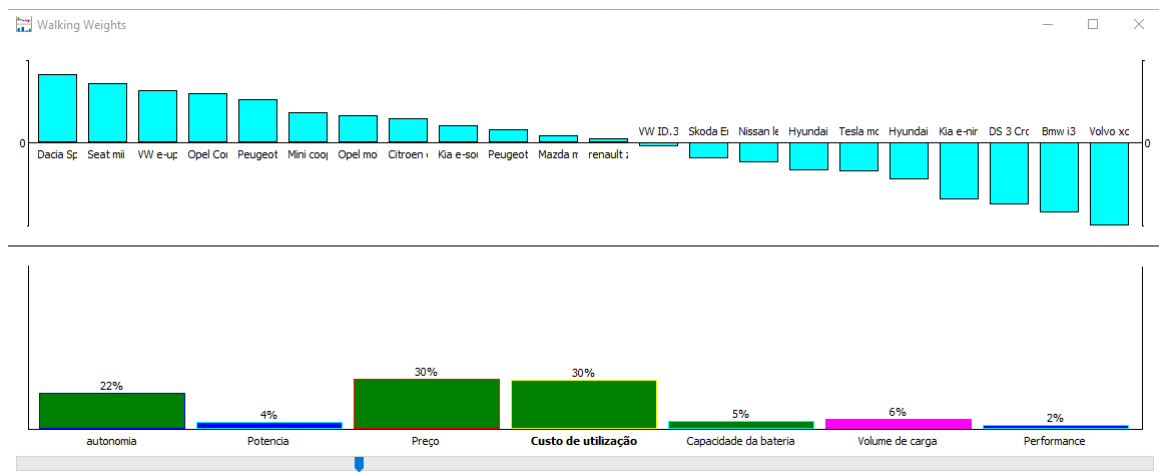
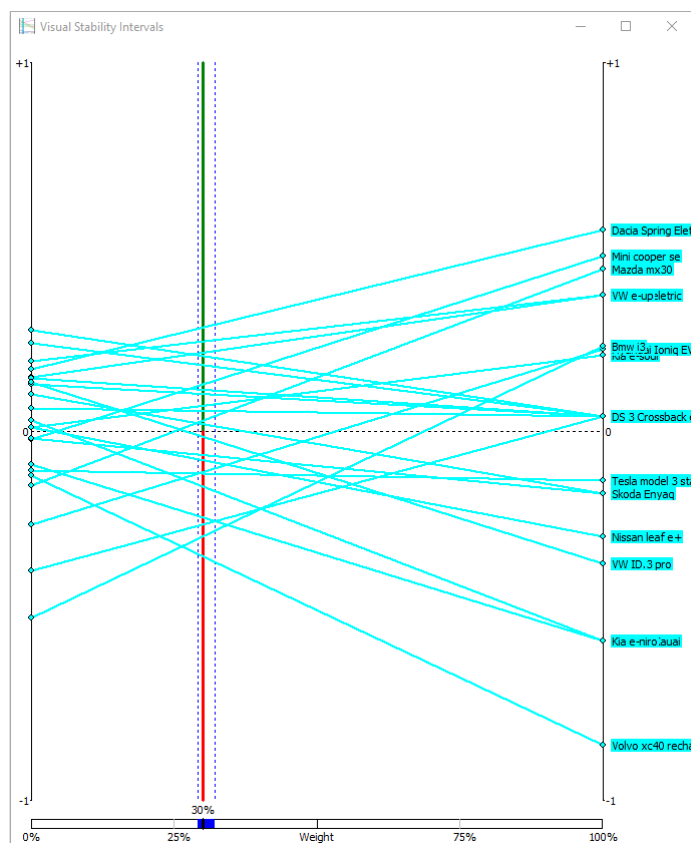


Figura 3.16: *Walking weight* com peso do custo de utilização a 30%.

Na figura 3.17 da janela *Visual Stability Intervals*, podemos confirmar o mesmo que na figura anterior.

Figura 3.17: *Visual Stability Intervals* – Custo de utilização.

- **Volume de Carga**

Se considerarmos o peso do volume da carga para 30%, tal como apresentado na figura 3.18, pode-se verificar que os modelos que seriam mais afetados são os modelos que apresentam um volume de carga maior, como por exemplo, o modelo Skoda Enyaq e o modelo da Tesla, que passavam a ter um fluxo global positivo. Por outro lado, os modelos que apresentam um volume de carga menor, passam a ter um fluxo global negativo, como por exemplo, o modelo Mini cooper se.

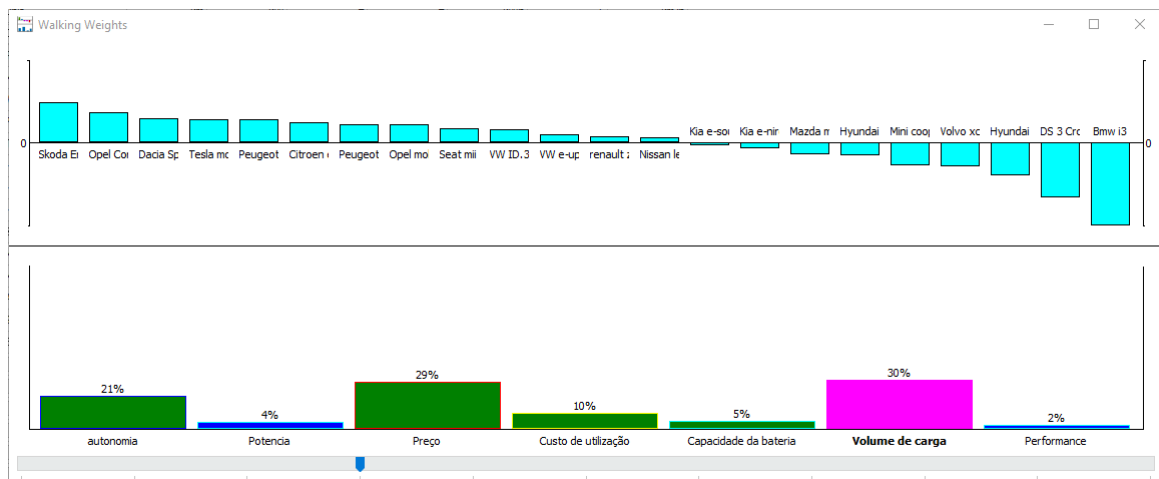


Figura 3.18: *Walking weight* com peso do volume da carga a 30%.

- **Capacidade da bateria**

Se for reestruturado o peso da capacidade da bateria para 30%, tal como apresentado na figura 3.19, pode-se concluir que o modelo que apresentava ser a melhor opção não se altera, mas pode-se verificar também que um dos modelos que apresentava ser a melhor opção (Dacia Spring Electric) teve uma queda enorme no seu fluxo global, passando quase a ser negativo. O modelo que apresenta ser o melhor neste critério (Volvo XC40 recharge) passou a ter um fluxo global positivo, sendo agora como o nono melhor modelo.

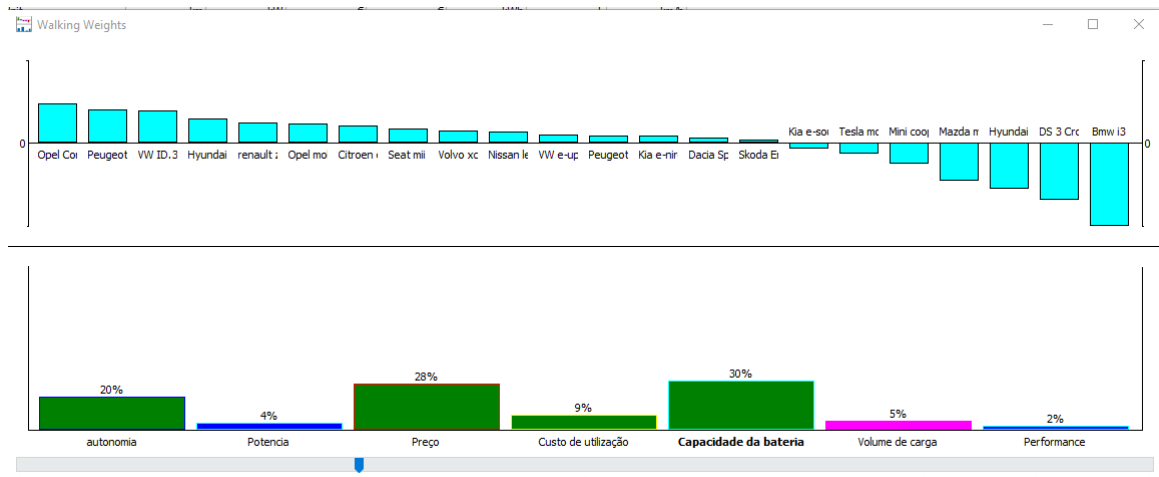


Figura 3.19: *Walking weight* com peso da capacidade da bateria a 30%.

- **Potência**

Segundo os dados das figuras 3.20 e 3.21 ao alterar o peso da potência para 25%, pode-se verificar que os modelos que seriam mais afetados são o Volvo XC40 recharge e o modelo da Tesla, pois são os modelos que apresentam uma maior

potência dos modelos apresentados. Por outro lado, o modelo que apresenta uma menor potência (Dacia Spring Electric), viu o seu lugar a ser mudado do segundo lugar para sexto lugar.

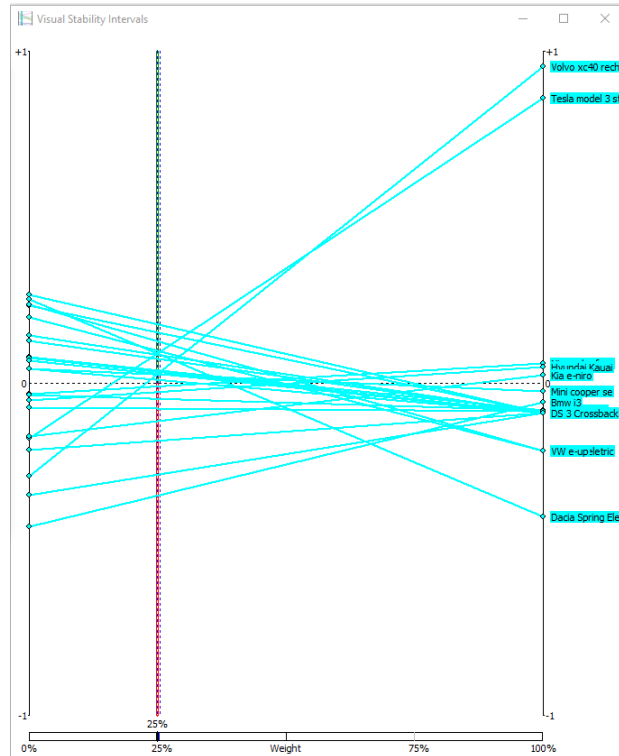


Figura 3.20: *Visual Stability Intervals* – Potência.

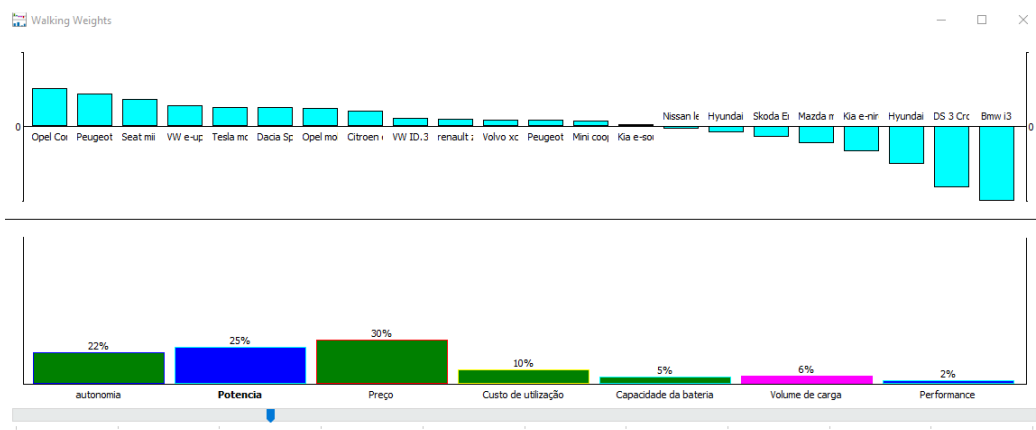


Figura 3.21: *Walking weight* com peso da potência a 25%.

- **Performance**

Se considerar a variação do peso da performance para 25%, pode-se retirar a mesma conclusão que no critério potência, uma vez que a potência está diretamente proporcional com a performance, ou seja, os modelos que seriam mais afetados são o Volvo XC40 recharge e o modelo da Tesla positivamente e o modelo Dacia Spring Eletric negativamente.

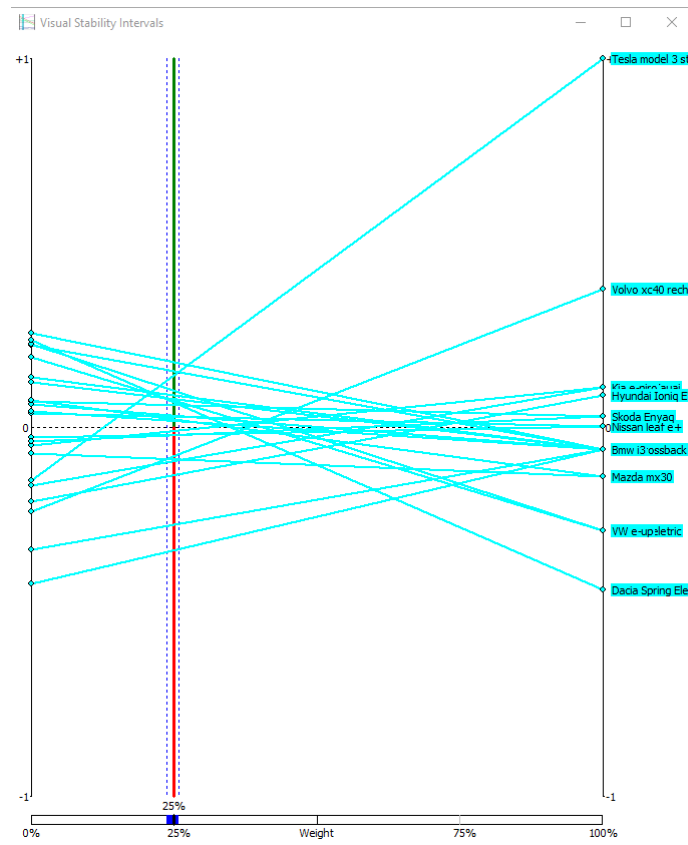


Figura 3.22: *Visual Stability Intervals* – Performance.

3.3.3 Análise dos resultados dos métodos

Através do PROMETHEE *rankings* pode-se concluir que os os modelos Opel Corsa e, Dacia Spring Eletric, Peugeot e-208 e o Seat mii Eletric são os melhores modelos pois revelam uma melhoria no fluxo global ϕ . Por outro lado, realça que os modelos BMW i3 e DS 3 Corssback e-tense detém o pior resultado.

Com base no PROMETHEE GAIA, os melhores modelos referidos anteriormente assumem a preferência em termos de qualidade e estabilidade, sendo classificados como muito bons. É de notar também, que os modelos que se apresentam isolados no gráfico, tem haver com a incoerência nalguns critérios, como por exemplo o modelo da Tesla em que apresenta o preço mais elevado de todos os modelos.

O *Walking Weight* em simultâneo com o *Visual Stability Intervals* determinam com mais detalhe o impacto de uma alteração nos pesos dos critérios iniciando com uma visualização do peso de cada critério e o *ranking* inicial, permitindo modificar os pesos e reclassificar os modelos com uma nova realidade. Realça uma vez mais que os modelos Opel Corsa, Dacia Spring Eletric, Peugeot e-208 e o Seat mii Eletric trazem mais benefícios. Através destes dois parâmetros conclui-se que neste caso todos os critérios são muito sensíveis à variação do peso.

Capítulo 4

Caso de estudo com um decisor

Neste capítulo vai ser apresentado um caso de estudo com um decisor, em que serão analisados e abordados os critérios qualitativos, o **conforto**, a **marca**, a **segurança** e a **tecnologia**, uma vez que agora podem ser mensurados, bem como os critérios **preço**, **autonomia** e **consumo**.

4.1 Identificação e estruturação do problema

Para o processo de recolha e obtenção de dados, foi necessário aceder as várias páginas dos modelos para a recolha dos dados quantitativos, e a nível qualitativo, uma vez que o decisor já trabalhou com os diversos modelos, que são eles, o **Lexus UX 300e**, o **Tesla model 3 Standard range**, o **Volvo XC40 recharge electric** e o **Jaguar i-pace**, já é possível mensura-los. Desta forma, os critérios, bem como as alternativas possíveis, foram indicados pelo decisor em questão, visto que trabalha diariamente com VEs. O principal objetivo, como já mencionado, será estabelecer um *ranking* do melhor VE dos apresentados.

4.2 Aplicação do método AHP

Com o intuito de aplicar o método AHP neste estudo, considera a estrutura hierárquica que a figura 4.1 ilustra.

No topo da estrutura hierárquica encontra-se o objetivo principal, a seleção do melhor VE. Logo abaixo encontra-se o segundo nível que compreende os sete critérios

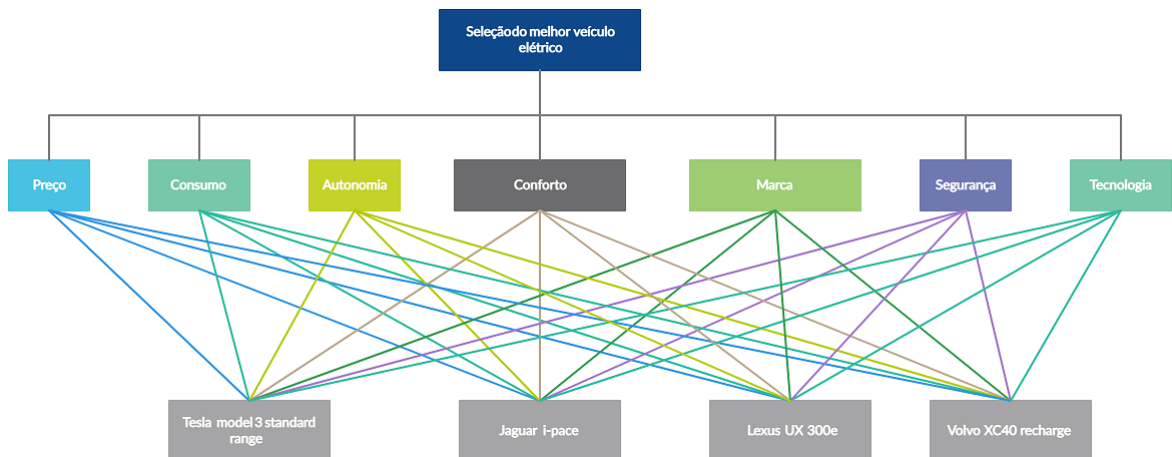


Figura 4.1: Estrutura hierárquica do problema.

considerados para o processo de avaliação e, por fim, no terceiro nível, encontra-se as quatro possíveis alternativas de VEs.

De seguida, o decisor avaliou os sete critérios e automaticamente atribuiu os respetivos pesos, como podemos verificar na figura 4.2.

Critérios e respetivo peso - LMT		
Preço	90%	14,75%
Consumo	100%	16,39%
Autonomia	70%	11,48%
Conforto	100%	16,39%
Marca	80%	13,11%
Segurança	90%	14,75%
Tecnologia	80%	13,11%
	610%	100,00%

Figura 4.2: Respetivos pesos dos critérios.

4.3 Aplicação do método PROMETHEE

Como explicado na secção 3.3, foi utilizado o software *Visual PROMETHEE*, o que resultou na interface abaixo. Em coluna constam os critérios e em linha as alternativas disponíveis. Desta forma, é disposto um conjunto de 7 critérios e 4 modelos, tal como apresentado na figura 4.3.

Scenario1	Preço	Consumo	Autonomia	Conforto	Marca	Segurança	Tecnologia
Unit	€	kWh/100km	km	5-point	5-point	5-point	5-point
Cluster/Group	■	■	■	■	■	■	■
Preferences							
Min/Max	min	min	max	max	max	max	max
Weight	14,75	16,39	11,48	16,39	13,11	14,75	13,11
Preference Fn.	Linear	Linear	Linear	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
-Q: Indifference	€ 15.048,36	0,41	15,36	n/a	n/a	n/a	n/a
-P: Preference	€ 32.155,53	1,18	41,36	n/a	n/a	n/a	n/a
-S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics							
Minimum	€ 49.357,00	2,34	400,00	4,00	3,00	4,00	5,00
Maximum	€ 83.038,00	3,71	448,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Average	€ 58.948,75	3,16	418,00	4,25	4,50	4,75	5,00
Standard Dev.	€ 13.952,26	0,53	18,49	0,43	0,87	0,43	0,00
Evaluations							
<input checked="" type="checkbox"/> tesla model 3 sta...	€ 50.900,00	2,34	448,00	good	average	good	very good
<input checked="" type="checkbox"/> jaguar i pace	€ 83.038,00	3,71	406,00	good	very good	very good	very good
<input checked="" type="checkbox"/> lexus UX 300e	€ 52.500,00	3,07	400,00	very good	very good	very good	very good
<input checked="" type="checkbox"/> volvo xc40 recha...	€ 49.357,00	3,54	418,00	good	very good	very good	very good

Figura 4.3: Introdução das características do caso de estudo no PROMETHEE.

4.3.1 PROMETHEE rankings

Parcial - PROMETHEE I

Como anteriormente referido na secção 3.3.1, o PROMETHEE I confronta os dois *rankings* obtidos (o ϕ^+ e o ϕ^-), incluindo apenas as preferências que são asseguradas em ambos os *rankings*.

Nas figuras 4.5 e 4.4, verifica-se que o modelo Lexus UX 300e é o modelo que é mais favorável consoante os critérios apresentados, visto que é o que apresenta o melhor *ranking* tanto como o ϕ^+ e o ϕ^- . Esta análise verifica-se, pois é o modelo que a nível de conforto, marca e segurança é melhor comparando com os restantes modelos.

Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	lexus UX 300e	0,2562	0,3215	0,0653
2	volvo xc40 recharge	0,0113	0,1459	0,1347
3	tesla model 3 standard	-0,0537	0,2796	0,3333
4	jaguar i pace	-0,2138	0,0929	0,3067

Figura 4.4: Tabela de fluxo.

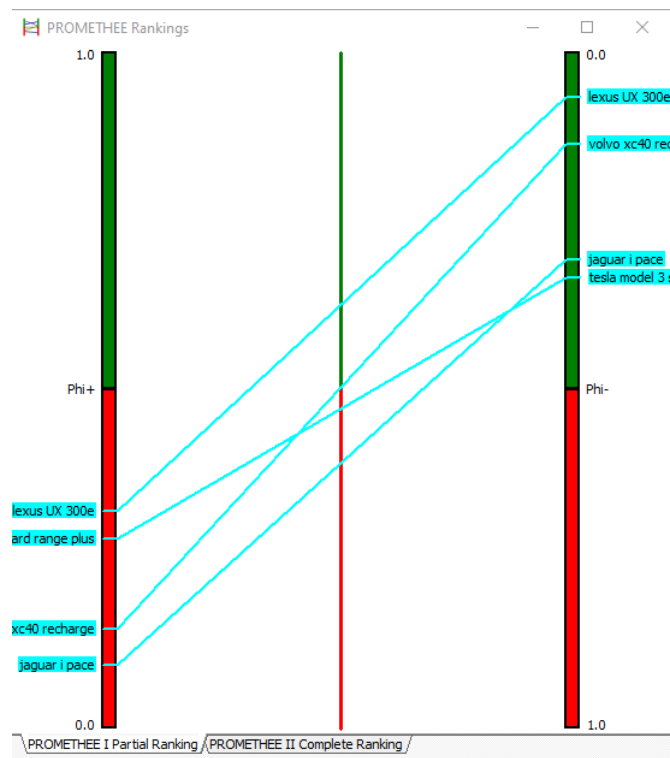
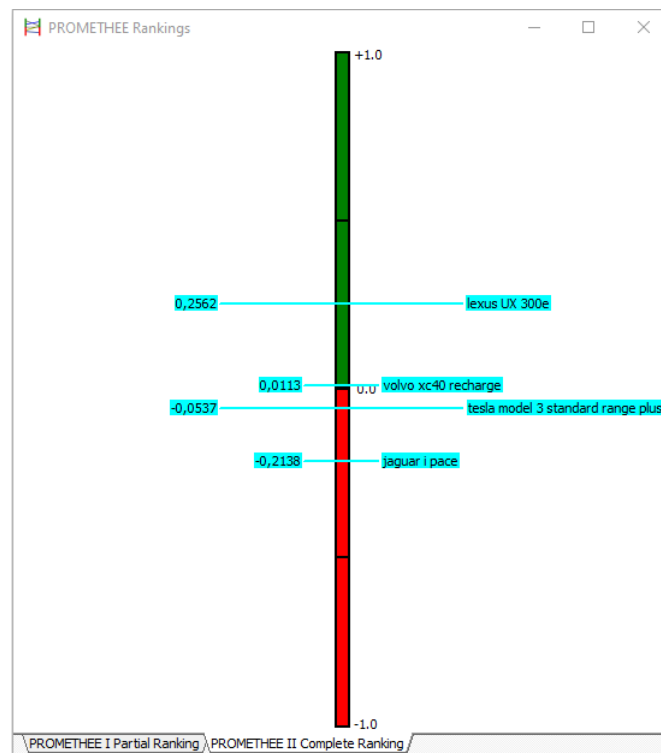


Figura 4.5: PROMETHEE I – *ranking* parcial.

Completo - PROMETHEE II

Este *ranking* tem a desvantagem de fornecer menos informação, não considerando incomparabilidade entre critérios. Assim, e como expectável, o PROMETHEE II confirma as conclusões obtidas na análise anterior, bem como na tabela de fluxo, onde o modelo que melhor corresponde aos requisitos é o modelo Lexus UX 300e e o pior modelo é o Jaguar i-pace, visto que é o modelo mais caro e com maior consumo, em relação aos modelos apresentados.

Figura 4.6: PROMETHEE II – *ranking* completo.

PROMETHEE GAIA

Um primeiro aspeto a considerar é o facto da representação 2D obtida ter um nível de qualidade de 92,1%, o que significa que é altamente confiável.

Neste caso, pode-se concluir que relativamente às alternativas, todos os modelos encontram-se distantes uns dos outros, concluindo assim que os modelos não são muito similares entre si. A nível dos critérios, pode-se concluir que nenhum dos critérios apresentados entra em conflito, apresentando-se todos separados.

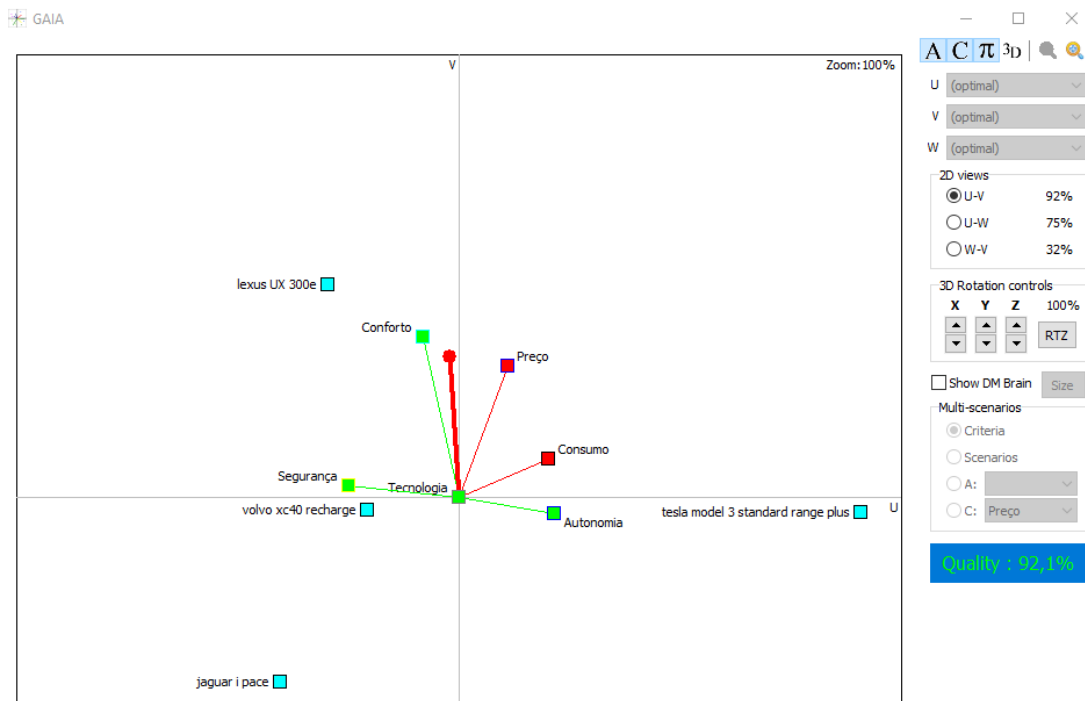


Figura 4.7: PROMETHEE-GAIA

4.3.2 Análise da Sensibilidade

Para a análise da sensibilidade, foram utilizados o *Walking Weight* e a janela *Visual Stability Intervals* para uma melhor visualização.

Pela figura 4.8, que representa a janela *Visual Stability Intervals* para o critério preço, pode-se concluir que só muda o *ranking* dos modelos se o peso do preço aumentar para 90,28%, sendo o modelo Lexus UX 300e ultrapassado para terceiro lugar.

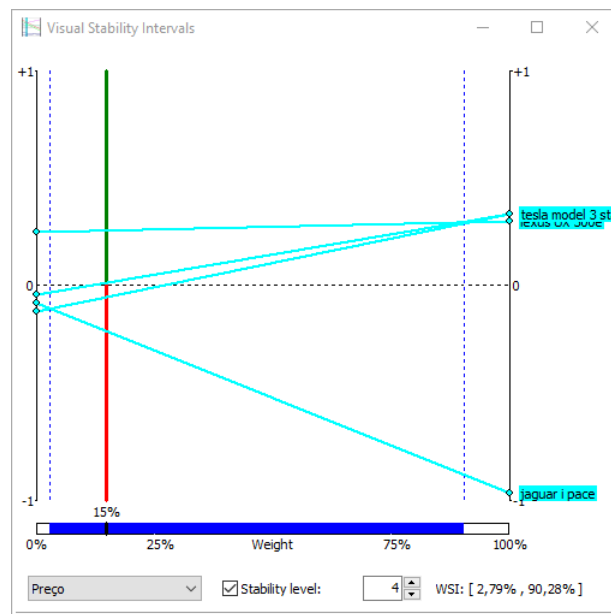


Figura 4.8: *Visual Stability Intervals* - Preço.

Para o critério consumo, já existem alterações se o peso do mesmo for alterado para 20,81%, havendo uma troca de posições entre o segundo e o terceiro. Se aumentarmos para 40%, o modelo da Tesla, fica a ocupar o primeiro lugar como o melhor modelo.

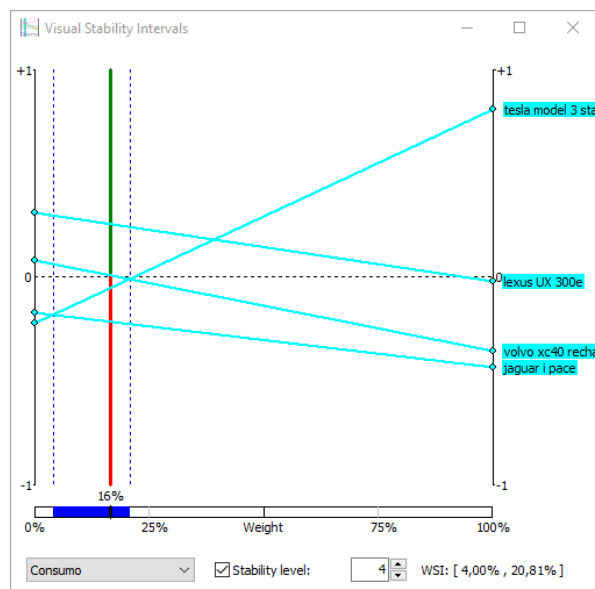


Figura 4.9: *Visual Stability Intervals* - Consumo.

A nível do critério da autonomia, se o peso do mesmo for alterado para 30%, o modelo da tesla para a ser o modelo mais favorável, passando o Lexus UX 300e para segundo lugar.

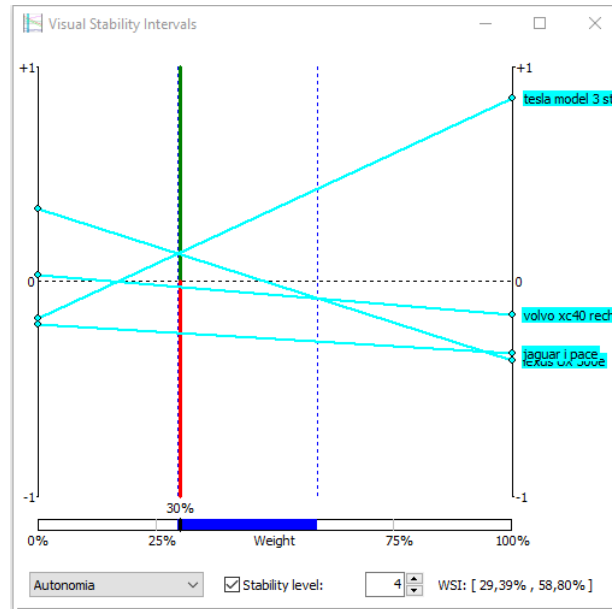


Figura 4.10: *Visual Stability Intervals* - Autonomia.

A nível dos critérios qualitativos, os critérios conforto e tecnologia indicam que os pesos podem ser modificados num grande intervalo (até 100%), sem alterar o desempenho de superação absoluta do cenário progressivo.

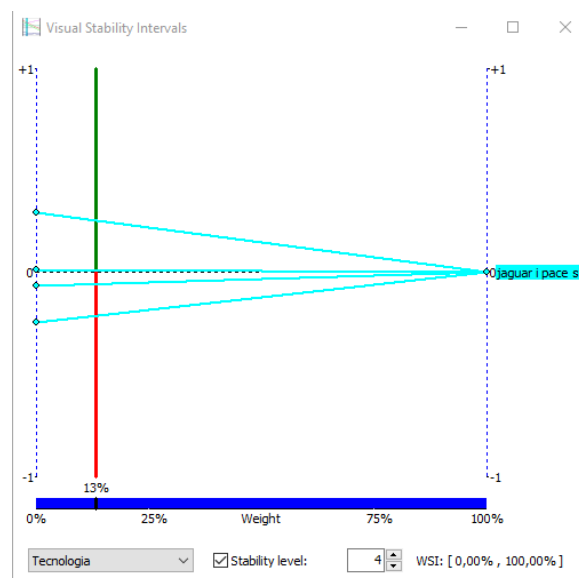


Figura 4.11: *Visual Stability Intervals* - Tecnologia.

Com os critérios marca e segurança acontece o mesmo a partir de um certo valor, sendo para a marca a partir de 23%, havendo uma troca de posições entre o terceiro e o quarto.

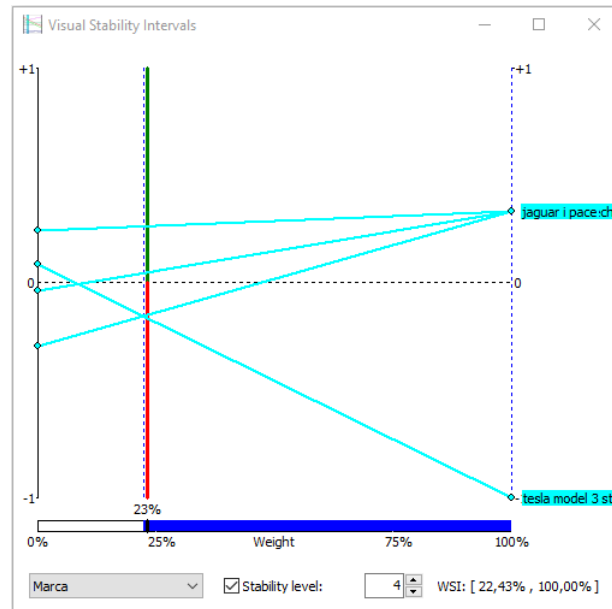


Figura 4.12: *Visual Stability Intervals* - Marca.

4.3.3 Análise dos resultados dos métodos

Através do PROMETHEE *rankings* pode-se concluir que o modelo Lexus UX 300e é o melhor modelo pois revela uma melhoria no fluxo global ϕ . Por outro lado, de realçar também que o modelo Jaguar i-pace detém o pior resultado.

O *Walking Weight* em simultâneo com o *Visual Stability Intervals* determinam com mais detalhe o impacto de uma alteração nos pesos dos critérios iniciando com uma visualização do peso de cada critério e o *ranking* inicial, permitindo modificar os pesos e reclassificar os modelos com uma nova realidade.

Capítulo 5

Conclusões e Trabalho Futuro

Neste último capítulo, são apresentadas as conclusões retiradas sobre o trabalho realizado, tendo em conta, as metodologias usadas para a escolha do melhor VE doméstico nos dias de hoje. Por último, são apresentadas sugestões de trabalho a realizar no futuro.

5.1 Conclusões

O objetivo desta dissertação é considerar o problema de analisar e recomendar os VEs que são mais úteis para utilização doméstica.

Para este efeito, a abordagem híbrida dos métodos de AHP e PROMETHEE foi proposta, sendo que os pontos fortes de ambas as metodologias são combinados em uma única ferramenta. A aplicação desta abordagem integrada para o problema de decisão do VE é apresentada em pormenor em cada uma das etapas da metodologia AHP-PROMETHEE.

A abordagem híbrida usada nesta dissertação baseia-se na ideia de que há um número de características distintas do AHP que podem ser usadas para melhorar o PROMETHEE, nomeadamente ao nível da estruturação do problema de decisão e na fase de determinação dos pesos dos critérios, que se baseia em pares comparações. Uma vez que o PROMETHEE não fornece nenhuma orientação formal para determinar os pesos dos critérios, a incorporação de pesos AHP aumenta a precisão do método. Por sua vez, o PROMETHEE enriquece o AHP porque associa uma função

de preferência a cada critério e oferece um conjunto de ferramentas para analisar minuciosamente o problema de decisão.

Analisando ambos os métodos aplicados ao problema de seleção do melhor VE doméstico, foi possível obter uma clara conclusão que o modelo Opel Corsa-e é o que reúne as melhores condições, tendo em conta os critérios definidos para o processo. Sendo como segunda opção, o modelo Dacia Spring Electric.

No caso de estudo, aplicando os métodos, conclui-se que o Lexus UX 300e é o que reúne as melhores condições.

É possível observar que, de um modo geral, em Metodologias de Apoio à Decisão Multicritério, mesmo quando são utilizados pesos iguais, estes podem traduzir-se em resultados diferentes, dado que os pesos não possuem o mesmo significado.

Por outro lado, a forma como são atribuídos os pesos, cria um grande impacto e reformula todo o *ranking*, sujeito a oscilações nos resultados e classificação dos modelos. Contudo, o *software Visual PROMETHEE*, ao disponibilizar uma diversidade de *outputs*, é extremamente vantajoso e permite que o decisor, dependendo da análise que pretende, tenha diferentes resultados para reavaliar e comparar diversos cenários.

5.2 Trabalho Futuro

Em termos de trabalho futuro, seria interessante aplicar o mesmo método daqui a uns anos, para ver se os mesmos modelos se mantinham nos mesmos *rankings* ou se haverá um novo modelo melhor. Seria também interessante alargar o número de modelos, considerando modelos com mais autonomia ou com um preço mais elevado.

Referências

- [1] “Transportes | relatório do estado do ambiente.” https://rea.apambiente.pt/dominio_ambiental/transportes. (Accessed on 10/01/2021). [Citado nas páginas 1 e 16]
- [2] “Introduction to electric cars - thegreenage.” <https://www.thegreenage.co.uk/tech/introduction-to-electric-cars/>. (Accessed on 10/01/2021). [Citado na página 1]
- [3] “Vantagens e desvantagens do carro elétrico vs gasolina.” <https://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-do-carro-electrico-vs-gasolina/>. (Accessed on 10/06/2021). [Citado nas páginas 1, 2 e 16]
- [4] “Emissões de dióxido de carbono nos carros: factos e números (infografia) | atualidade | parlamento europeu.” <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20190313ST031218/emissoes-de-dioxido-de-carbono-nos-carros-factos-e-numeros-infografia>. (Accessed on 10/01/2021). [Citado na página 2]
- [5] “Pegada energética e carbónica dos transportes | relatório do estado do ambiente.” <https://rea.apambiente.pt/content/pegada-energetica-e-carbonica-dos-transportes>. (Accessed on 10/01/2021). [Citado na página 2]
- [6] “Volvo cars to go fully electric by 2030.” <https://www.edie.net/news/12/Volvo-Cars-to-go-fully-electric-by-2030/>. (Accessed on 10/15/2021). [Citado na página 2]
- [7] “Volvo diesel cars no longer being developed | volvo cars of austin.” <https://www.volvoaustin.com/blog/volvo-announces-end-of-diesel-engines.htm>. (Accessed on 10/15/2021). [Citado na página 2]
- [8] J. S. Dodgson, M. Spackman, A. Pearman, and L. D. Phillips, *Multi-criteria analysis : a manual*, vol. 11. 2009. [Citado nas páginas 5 e 6]
- [9] Z. Srdjevic, R. Bajcetic, and B. Srdjevic, “Identifying the Criteria Set for Multicriteria Decision Making Based on SWOT/PESTLE Analysis: A Case Study

- of Reconstructing A Water Intake Structure,” *Water Resources Management*, vol. 26, no. 12, pp. 3379–3393, 2012. [Citado na página 6]
- [10] S. M. Moolavallil, “Application of Geographic Information System to find suitable landfill sites for solid waste disposal for the city of Bangalore,” pp. 1–86, 2015. [Citado na página 6]
- [11] Â. Miguel, L. Moreira, I. Pinheiro, D. Ara, M. T. Pereira, M. Santos, C. Francisco, and F. M. Muradas, “PROMETHEE-SAPEVO-M1 a Hybrid Approach Based on Ordinal and Cardinal Inputs : Multi-Criteria Evaluation of Helicopters to Support Brazilian Navy Operations,” 2021. [Citado na página 6]
- [12] J. Chai, J. N. Liu, and E. W. Ngai, “Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature,” *Expert Systems with Applications*, vol. 40, no. 10, pp. 3872–3885, 2013. [Citado na página 6]
- [13] J. P. Brans and Y. De Smet, “PROMETHEE methods,” *International Series in Operations Research and Management Science*, vol. 233, pp. 187–219, 2016. [Citado nas páginas vii, 7, 8, 9 e 10]
- [14] B. Mareschal, “Visual PROMETHEE manual,” pp. 1–192, 2013. [Citado nas páginas vii, 10, 11 e 12]
- [15] E. Løken, “Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 11, no. 7, pp. 1584–1595, 2007. [Citado na página 12]
- [16] T. L. Saaty, “How to make a decision: The analytic hierarchy process,” *European Journal of Operational Research*, vol. 48, no. 1, pp. 9–26, 1990. [Citado nas páginas ix, 12, 13 e 14]
- [17] “Scielo - brasil - a contabilidade gerencial e os métodos multicriteriais a contabilidade gerencial e os métodos multicriteriais.” <https://www.scielo.br/j/rcf/a/sMV9Z8pGrmcHymLPMq5WWCj/?lang=pt>. (Accessed on 10/01/2021). [Citado na página 12]
- [18] “O framework ahp (processo hierárquico analítico) para tomar decisões e priorização - vida de produto.” <https://vidadeproduto.com.br/framework-ahp/>. (Accessed on 10/13/2021). [Citado nas páginas vii e 13]
- [19] “A combined ahp-promethee approach for project selection and a case study in the turkish textile industry - pdf free download.” <https://docplayer.net/31360378-A-combined-ahp-promethee-approach-for-project-selection-and-a-case-study.html>. (Accessed on 10/05/2021). [Citado nas páginas 14 e 15]

- [20] L. Turcksin, A. Bernardini, and C. Macharis, “A combined AHP-PROMETHEE approach for selecting the most appropriate policy scenario to stimulate a clean vehicle fleet,” *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 20, pp. 954–965, 2011. [Citado na página 15]
- [21] M. Aruldoss, T. M. Lakshmi, and V. P. Venkatesan, “A Survey on Fuzzy Mcdm Methods and Its Applications,” *American Journal of Information Systems*, vol. 1, no. 1, pp. 31–43, 2013. [Citado na página 15]
- [22] “Carros anteriores a 2005 vão ser proibidos na baixa de lisboa a partir de 2021 | lisboa | público.” <https://www.publico.pt/2020/02/05/local/noticia/carros-antiores-2005-va0-proibidos-baixa-lisboa-partir-2021-1902888>. (Accessed on 10/02/2021). [Citado na página 16]
- [23] Ching Chuen Chan, “The Rise and Fall of Electric,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 101, no. 1, pp. 206–212, 2013. [Citado na página 16]
- [24] “Electric cars: Born almost 200 years back, lost for decades and back now! tracing the evolution of evs - the financial express...” <https://www.financialexpress.com/auto/car-news/electric-cars-born-almost-200-years-back-lost-for-decades-and-back-now-tracing-the-1152869/>. (Accessed on 10/06/2021). [Citado na página 16]
- [25] “Conheça a diferença entre carros híbridos e elétricos | honda portugal.” <https://honda-automoveis.pt/blog/diferenca-entre-carros-hibridos-eletricos/>. (Accessed on 10/06/2021). [Citado na página 16]
- [26] EEA, *Electric Vehicles in Europe - 2016 - Approaching adolescence*. No. 20, 2016. [Citado nas páginas vii, 17, 18, 19 e 21]
- [27] “Vantagens e desvantagens do carro elétrico vs gasolina.” <https://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-do-carro-electrico-vs-gasolina/>. (Accessed on 10/01/2021). [Citado nas páginas vii e 20]
- [28] “Global ev outlook 2021 – analysis - iea.” <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021?mode=overview>. (Accessed on 10/01/2021). [Citado nas páginas vii, 20 e 21]
- [29] “Carros elétricos: vantagens e desvantagens | controlauto.” <https://controlauto.pt/seguranca-rodoviaria/manutencao-automovel/carros-eletricos-vantagens-e-desvantagens>. (Accessed on 10/01/2021). [Citado nas páginas 21 e 22]

- [30] “Electric cars: Pros and cons.” <https://www.caranddriver.com/research/a32758614/electric-cars-pros-and-cons/>. (Accessed on 10/01/2021). [Citado na página 22]
- [31] “Carros elétricos: vantagens e desvantagens – gocarmat – rede de oficinas multimarca em lisboa.” <https://www.gocarmat.pt/carros-eletricos-vantagens-desvantagens/>. (Accessed on 10/01/2021). [Citado na página 22]
- [32] “Carros elétricos: Vantagens e desvantagens | arval.” <https://www.arval.pt/medias-e-grandes-empresas/carros-eletricos>. (Accessed on 10/01/2021). [Citado na página 22]
- [33] “A vida das baterias de um veículo elétrico - uve.” <https://www.uve.pt/page/vida-das-baterias-veiculo-eletrico/>. (Accessed on 11/17/2021). [Citado na página 22]
- [34] “Vendas de veículos elétricos em julho 2021 cresceram 49.6%! - uve.” <https://www.uve.pt/page/vendas-ve-julho-2021/>. (Accessed on 10/01/2021). [Citado nas páginas vii e 23]
- [35] “Country detail | eafo.” <https://www.eafo.eu/countries/portugal/1749/summary>. (Accessed on 10/01/2021). [Citado nas páginas vii, 23 e 24]
- [36] “Fundo ambiental, ministério do ambiente.” <https://www.fundoambiental.pt/avisos-2021/mitigacao-das-alteracoes-climaticas/incentivo-pela-introducao-no-consumo-de-veiculos-de-baixas-emissoes-2021.aspx>. (Accessed on 10/01/2021). [Citado na página 25]
- [37] “Qual o incentivo fiscal para comprar carros sustentáveis em 2021?.” <https://www.cgd.pt/Site/Saldo-Positivo/mobilidade/Pages/incentivo-fiscal-carros-sustentaveis.aspx>. (Accessed on 10/01/2021). [Citado na página 25]
- [38] “Incentivo à compra de veículos de baixa emissão: as regras em 2021.” <https://www.cgd.pt/Site/Saldo-Positivo/mobilidade/Pages/incentivo-compra-veiculos.aspx>. (Accessed on 10/01/2021). [Citado na página 25]
- [39] “Fiscalidade nos automóveis 2021: Custos e benefícios para sua empresa.” https://mmc.pt/fiscalidade-nos-automoveis_2021/. (Accessed on 10/01/2021). [Citado na página 25]
- [40] “Ev & ev charger incentives in europe: A complete guide for businesses & individuals.” <https://blog.wallbox.com/ev-incentives-europe-guide/>. (Accessed on 10/01/2021). [Citado nas páginas 25, 26, 27, 28 e 29]

- [41] “Incentives for buying an electric car in france: how do they work? - renault group.” <https://www.renaultgroup.com/en/news-on-air/news/incentives-for-buying-an-electric-car-in-france-how-do-they-work/>. (Accessed on 10/06/2021). [Citado na página 26]
- [42] “Germany extends e-car purchasing support to 2025 | clean energy wire.” <https://www.cleanenergywire.org/news/germany-extends-e-car-purchasing-support-2025>. (Accessed on 10/06/2021). [Citado na página 27]
- [43] “Ev charging infrastructure incentives in europe 2021 | evbox.” <https://blog.evbox.com/ev-charging-infrastructure-incentives-eu>. (Accessed on 10/06/2021). [Citado na página 27]
- [44] “State policies promoting hybrid and electric vehicles.” <https://www.ncsl.org/research/energy/state-electric-vehicle-incentives-state-chart.aspx>. (Accessed on 10/06/2021). [Citado na página 30]
- [45] “Federal charging and ev incentives | chargepoint.” <https://www.cnn.com/2021/03/31/us-ev-charging-system-a-priority-under-bidens-2-trillion-infrastructure-plan.html>. (Accessed on 10/06/2021). [Citado na página 30]
- [46] “Federal charging and ev incentives | chargepoint.” <https://www.chargepoint.com/incentives/federal-charging-incentives/>. (Accessed on 10/06/2021). [Citado nas páginas 30 e 31]
- [47] A. Souza, M. Santos, and M. Cintra, “Análise de Decisão Multicritérios (MCDA): uma revisão rápida sobre os critérios utilizados na Avaliação de Tecnologias em Saúde,” *Jornal Brasileiro de Economia da Saúde*, vol. 10, no. 1, pp. 64–74, 2018. [Citado nas páginas 33 e 34]
- [48] J. Levin, “Determinação do tamanho de uma amostra,” *Editora Harbra*, p. 9, 1987. [Citado na página 35]
- [49] “Compare electric vehicles - ev database.” <https://ev-database.org>. (Accessed on 10/18/2021). [Citado nas páginas ix e 36]
- [50] “O que é o wltv | volkswagen portugal.” <https://www.volkswagen.pt/pt/proprietarios-e-apos-venda/Informacoes-aos-clientes/o-que-e-o-wltv.html>. (Accessed on 10/01/2021). [Citado na página 37]
- [51] “Potência de motor de carro: conheça os principais tipos! - portal auto shopping | portal auto shopping.” <http://www.portalautosshopping.com.br/>

- blog/potencia-de-motor-de-carro-conheca-os-principais-tipos/. (Accessed on 10/01/2021). [Citado na página 37]
- [52] “Tudo o que precisa de saber sobre as baterias dos carros elétricos.” <https://www.turbo.pt/baterias-dos-carros-el/>. (Accessed on 10/01/2021). [Citado na página 37]

Anexo A


Questionario do *google forms*

Seção 1 de 2

Crítérios na escolha de um veículo elétrico

Olá! Sou finalista do curso de mestrado em Engenharia Eletrotécnica - Sistemas e Planeamento Industrial e estou a desenvolver a minha Dissertação, estudando o impacto dos critérios na escolha da compra de um veículo elétrico.
Solicito a vossa preciosa ajuda para responder ao questionário, demorando menos de 2 minutos.
Os dados pessoais serão exclusivamente anónimos.
Muito obrigado!

Título da imagem



Idade *

Texto de resposta curta

Géneros *

Masculino

Feminino

Outros

Figura A.1: Questionario do *google forms*

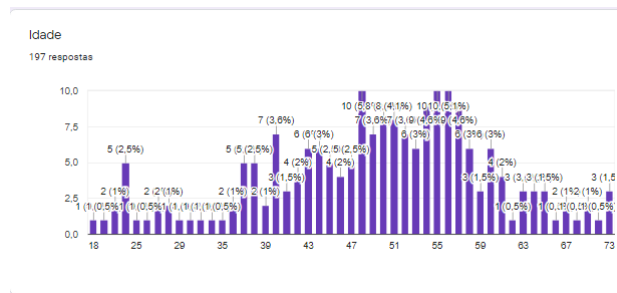
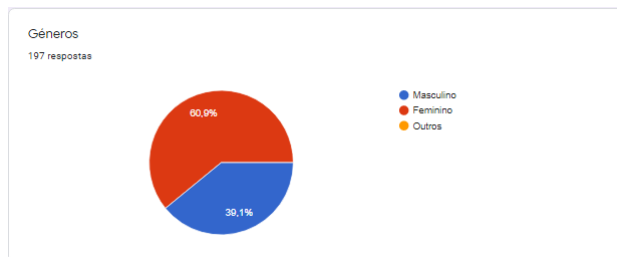
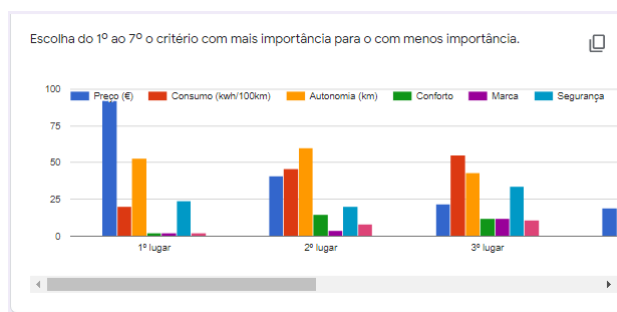
Secção 2 de 2

Título da secção (opcional)

Neste secção será feita a escolha dos critérios na compra de um veículo elétrico, escolhendo do 1º ao 7º o critério com mais importância para o com menos importância.

Escolha do 1º ao 7º o critério com mais importância para o com menos importância.

	Preço (€)	Consumo (... Autonomia...	Conforto	Marca	Segurança	Tecnologia
1º lugar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2º lugar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3º lugar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4º lugar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5º lugar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6º lugar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7º lugar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura A.2: Questionario do *google forms*Figura A.3: Questionario do *google forms*Figura A.4: Questionario do *google forms*Figura A.5: Questionario do *google forms*