



UNIVERSIDADE CATÓLICA PORTUGUESA

# Adesão ao hidrogénio na mobilidade em Portugal

Patrícia Alexandra Gomes Moreira

Católica Porto Business School  
Abril 2023



UNIVERSIDADE CATÓLICA PORTUGUESA

# Adesão ao hidrogénio na mobilidade em Portugal

Trabalho Final na modalidade de Dissertação  
apresentado à Universidade Católica Portuguesa  
para obtenção do grau de mestre em (especialidade)

por

Patrícia Alexandra Gomes Moreira

sob orientação de  
Professor Jorge Julião  
Professor Luís Serrano

Católica Porto Business School  
Abril 2023



# Agradecimentos

À minha família, pelo apoio e amor incondicional e por me permitirem ter  
chegado até aqui;

Ao meu namorado por toda a compreensão, carinho e suporte;

Aos meus amigos pela compreensão e motivação;

Aos meus orientadores por todo o aconselhamento e encaminhamento na  
elaboração da tese;

A minha profunda gratidão, sem vocês não teria sido possível!



# Resumo

O abastecimento energético mundial baseia-se em combustíveis fósseis. Contudo, dadas as suas desvantagens, há um esforço global de transição energética para limitar o aumento da temperatura global a 2°C. O setor dos transportes é dos mais poluentes, emitindo cerca de 20% das emissões de dióxido de carbono. O hidrogénio é uma alternativa atrativa aos combustíveis fósseis que pode ser usado tanto para a mobilidade, produção de eletricidade, entre outras.

A tecnologia de célula de combustível surge como alternativa líder face aos motores de combustão interna. No entanto, e apesar do grande potencial de utilização do hidrogénio na mobilidade em Portugal, é possível verificar uma quase inexistência desse mercado que coloca Portugal numa posição de atraso comparativamente com outros países. Tendo em conta os seus benefícios e potencial, quais são os fatores que explicam a baixa presença dos veículos a célula de combustível no mercado português? Qual é a forma mais adequada de potenciar este mercado e assim retirar os benefícios que daí poderão advir? O objetivo desta investigação é estudar quais são os fatores explicativos da baixa adesão ao hidrogénio na mobilidade, em Portugal.

A análise do problema foi desenvolvida através da realização de entrevistas a profissionais da área do hidrogénio e, posteriormente, analisando o seu conteúdo à luz de uma metodologia qualitativa. Foram obtidos, assim, uma série de fatores explicativos para a baixa adesão ao hidrogénio na mobilidade, em Portugal e, ainda, um conjunto de medidas propostas para a sua potenciação.

Palavras-chave: Veículos a Pilhas de Combustível; Mobilidade Verde; Mercado do Hidrogénio; Inovação tecnológica; Combustíveis e Veículos Alternativos; Sustentabilidade



# Abstract

The world's energy supply is based on fossil fuels. However, given its drawbacks, there is a global energy transition effort to limit global temperature rise to 2°C. The transport sector is among the most polluting, emitting about 20% of carbon dioxide emissions. Hydrogen is an attractive alternative to fossil fuels that can be used for both mobility, electricity production, among others.

Fuel cell technology emerges as a leading alternative to internal combustion engines. However, and despite the great potential for the use of hydrogen in mobility in Portugal, it is possible to verify a near absence of this market that puts Portugal in a position of backwardness compared to other countries. Given their benefits and potential, what are the factors that explain the low presence of fuel cell vehicles in the portuguese market? What is the most appropriate way to boost this market and thus derive the benefits that can come from it? Therefore, the objective of this research is to study what are the explanatory factors of low hydrogen adherence in mobility in Portugal.

The analysis of the problem was developed by conducting interviews with professionals in the field of hydrogen and, subsequently, analyzing the content of the interviews in the light of a qualitative methodology. Thus, a series of explanatory factors were obtained for the low adherence to hydrogen in mobility in Portugal and also a set of measures proposed for its potentiation.

Keywords: Fuel Cell Vehicles; Green Transportation; Hydrogen Market; Technological innovation; Alternative fuels and vehicles; Sustainability

9895 palavras





# Índice

Agradecimentos .....	iv
Resumo.....	vi
Abstract .....	viii
Índice .....	xi
Índice de Figuras.....	xiv
Índice de Tabelas .....	xvi
Abreviaturas .....	xviii
1. Introdução.....	20
1.1 Enquadramento.....	20
1.2 Definição da pesquisa.....	21
1.3 Metodologia .....	22
1.4 Estrutura da tese.....	22
2. Revisão de literatura .....	24
2.1 Hidrogénio como vetor fundamental para a descarbonização .....	24
2.2 O hidrogénio na área da mobilidade e os <i>Fuel Cell Vehicles</i> .....	25
2.3 Plano de ação português .....	27
2.4 Conhecimento e perceções sobre as tecnologias de hidrogénio.....	28
2.5 Principais benefícios e motivações .....	29
2.6 Principais barreiras .....	31
2.7 Principais soluções e projeções futuras.....	34
2.8 Síntese .....	36
3. Metodologia.....	39
3.1 Metodologia de investigação.....	39
3.2 Desenho da investigação.....	40
4. Apresentação e análise de resultados .....	46
4.1 Apresentação de resultados.....	46
4.2 Análise de resultados .....	52
4.3 Síntese de resultados .....	57
5. Discussão e conclusões .....	60
5.1 Introdução .....	60
5.2 Discussão.....	60
5.3 Conclusões .....	63
5.4 Limitações da investigação .....	63
5.5 Recomendações para pesquisa futura.....	64
6. Referências bibliográficas .....	65

7. Anexos.....	71
7.1 Guião das entrevistas .....	71



# Índice de Figuras

Figura 1 - Emissões CO2 em Portugal 2020 (APA, 2022) .....	25
Figura 2 - Cadeia de valor do hidrogénio na mobilidade em Portugal (República Portuguesa, 2020).....	26
Figura 3 - Estimativa sobre a evolução da economia de hidrogénio até 2040 (DGEG&República Portuguesa, 2019).....	27
Figura 4 - Hidrogénio enquanto vetor fundamental para a descarbonização da economia nacional (República Portuguesa, 2020).....	27
Figura 5 - Custo do combustível, a preços europeus (Shell & Wuppertal Institut, 2017).....	33
Figura 6 - Custos de propriedade, por tipo de veículo (Shell & Wuppertal Institut, 2017).....	33
Figura 7 - Síntese sobre a revisão de literatura.....	38
Figura 8 - Framework de investigação.....	41
Figura 9 - Framework após análise de dados .....	53



# Índice de Tabelas

Tabela 1 - Lista de entrevistas realizadas .....	42
Tabela 2 - Parte I - Conhecimento da tecnologia.....	48
Tabela 3 - Parte II – Motivações para a adoção.....	48
Tabela 4 - Parte III – Barreiras à adoção.....	49
Tabela 5 – Parte IV – Benefícios .....	50
Tabela 6 - Parte V – Medidas.....	51
Tabela 7 - Conclusões sobre as variáveis de análise .....	52



# Abreviaturas

AFV – Alternative Fuel Vehicle

BEV – Battery Electric Vehicle

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

FCV – Fuel Cell Vehicle

GEE – Gases com efeito de estufa

H<sub>2</sub> – Hidrogénio

ICE – Internal Combustion Engine



# 1. Introdução

## 1.1 Enquadramento

O abastecimento energético da sociedade tem vindo a ser satisfeito a partir dos combustíveis fósseis, desde a revolução industrial. No entanto, os combustíveis fósseis apresentam diversos problemas como a sua escassez e o elevado dano que provocam ao meio ambiente. Por outro lado, as reservas de combustíveis fósseis não se encontram repartidas de igual modo por todo o planeta: encontram-se apenas em determinados locais, provocando uma enorme dependência da sua utilização, muitas vezes associada a países de grande instabilidade política (Crabtree et al., 2004). Assim, é possível observar um esforço global de transição para uma economia de baixo carbono e um comprometimento de vários países para não ser ultrapassado um aumento de 2°C na temperatura global. Assim, os países desenvolvidos têm que reduzir 80-95% das emissões face aos níveis de 1990 até 2050. Um dos setores mais poluentes atualmente é o setor dos transportes, responsável por cerca de 20% do total de emissões de dióxido de carbono (Silva et al., 2014). Portanto, é de máxima importância a descarbonização do setor dos transportes.

O hidrogénio é uma alternativa atrativa aos combustíveis fósseis uma vez que pode ser produzido a partir de diversos recursos, tanto renováveis (hídricos, eólicos, solares, biomassa, geotérmicos) como não renováveis (carvão, gás natural, nuclear) e pode ser usado em sistemas de produção de energia de elevada eficiência tanto para a mobilidade como para a produção de eletricidade. Para além disso a sua utilização permitiria reduzir as emissões de dióxido de

carbono, melhorar a qualidade do ar, garantir a segurança energética e, ainda, constituir uma nova base energética industrial e tecnológica (Edwards et al., 2008).

A tecnologia Fuel Cell está a surgir como uma tecnologia alternativa líder aos motores de combustão interna mais poluentes em aplicações de veículos com várias vantagens face aos veículos referidos como a ausência de emissões poluentes (o único excedente é água) e mais do que o dobro da eficiência (Edwards et al., 2008). No entanto, é possível verificar, em Portugal, uma quase inexistência desse mercado – não existem estações de abastecimento públicas (apenas uma privada), existem apenas cinco *Toyotas Mirai*, dos quais apenas um está em circulação diariamente e apenas o modelo referido está disponível para aquisição.

## 1.2 Definição da pesquisa

Apesar do grande potencial de utilização do hidrogénio nos transportes em Portugal através de sistemas a Fuel Cell para a descarbonização do setor, a tecnologia ainda não se encontra disseminada, podendo dizer-se que ainda é praticamente inexistente. Comparativamente com outros países, Portugal apresenta uma situação de atraso na implementação dos FCVs (Fuel Cell Vehicles). A utilização em massa de FCVs permitiria a redução da emissão dos gases com efeito de estufa, a diminuição da poluição sonora e a redução da dependência energética. Tendo em conta os seus benefícios e potencial, quais são os fatores que explicam a baixa presença dos FCVs no mercado português? Qual é a forma mais adequada de potenciar este mercado e assim retirar os benefícios que daí poderão advir? Portanto, o objetivo deste estudo é investigar quais são

os fatores explicativos da baixa adoção do hidrogénio na mobilidade, em Portugal.

### 1.3 Metodologia

A análise do problema em estudo foi desenvolvida através da realização da formulação de possíveis fatores explicativos da situação e a sua verificação através da realização de entrevistas a profissionais da área do hidrogénio e, posteriormente, a análise dos resultados à luz de uma metodologia qualitativa. Foram obtidos, assim, uma série de fatores explicativos para a baixa adesão ao hidrogénio na mobilidade, em Portugal e, ainda, um conjunto de medidas propostas para a sua potenciação.

### 1.4 Estrutura da tese

- **Introdução:** Contextualização geral sobre a investigação e definição da questão de investigação;
- **Revisão de literatura:** Análise da literatura existente sobre o assunto;
- **Metodologia:** Definição da metodologia, estratégia de pesquisa, métodos de recolha de dados, metodologia do projeto e metodologia de análise de dados;
- **Análise de dados:** Análise dos dados recolhidos e apresentação das evidências retiradas;
- **Discussão e conclusões:** Discussão final e conclusões finais sobre a questão de investigação e contribuição para o conhecimento.



## 2. Revisão de literatura

### 2.1 Hidrogénio como vetor fundamental para a descarbonização

A transição para uma economia sustentável é condição necessária para assegurar segurança do abastecimento, segurança do emprego e acessibilidade. As consequências económicas e de saúde decorrentes das alterações climáticas podem ser muito graves (Trattner et al., 2022). Questões em torno da sustentabilidade, alterações climáticas e proteção ambiental começaram a ter uma influência crescente na política energética, despertando um novo interesse no H<sub>2</sub> (hidrogénio) como uma opção de energia limpa e sustentável (Shell & Wuppertal Institut, 2017). A economia do hidrogénio pode ser uma das principais soluções para atingir as metas climáticas (Smitkova et al., 2022). O H<sub>2</sub> pode ser produzido a partir de diversas fontes de energia, sendo a produção mundial feita principalmente a partir da reforma a vapor do gás natural (70%), seguido do petróleo, carvão e eletricidade. A eletrólise da água é o método que gera as menores emissões de GEE (gases com efeito de estufa) e representa, atualmente, apenas cerca de 5% da produção global (Shell & Wuppertal Institut, 2017). Trata-se de um mercado que pode ultrapassar os 0,5 triliões de dólares (Bairrão et al., 2023). É necessário considerar múltiplos aspetos como a existência de fontes baratas e eficazes para a produção, a existência de armazenamento suficiente e infraestrutura de transporte (Smitkova et al., 2022).

## 2.2 O hidrogénio na área da mobilidade e os *Fuel Cell Vehicles*

O setor dos transportes é responsável por cerca de 20% de todas as emissões de GEE e, portanto, os esforços para a sua redução são de extrema importância (Silva et al., 2014). A figura 1 ilustra a distribuição de GEE por setor, em Portugal, em 2020 (APA, 2022):

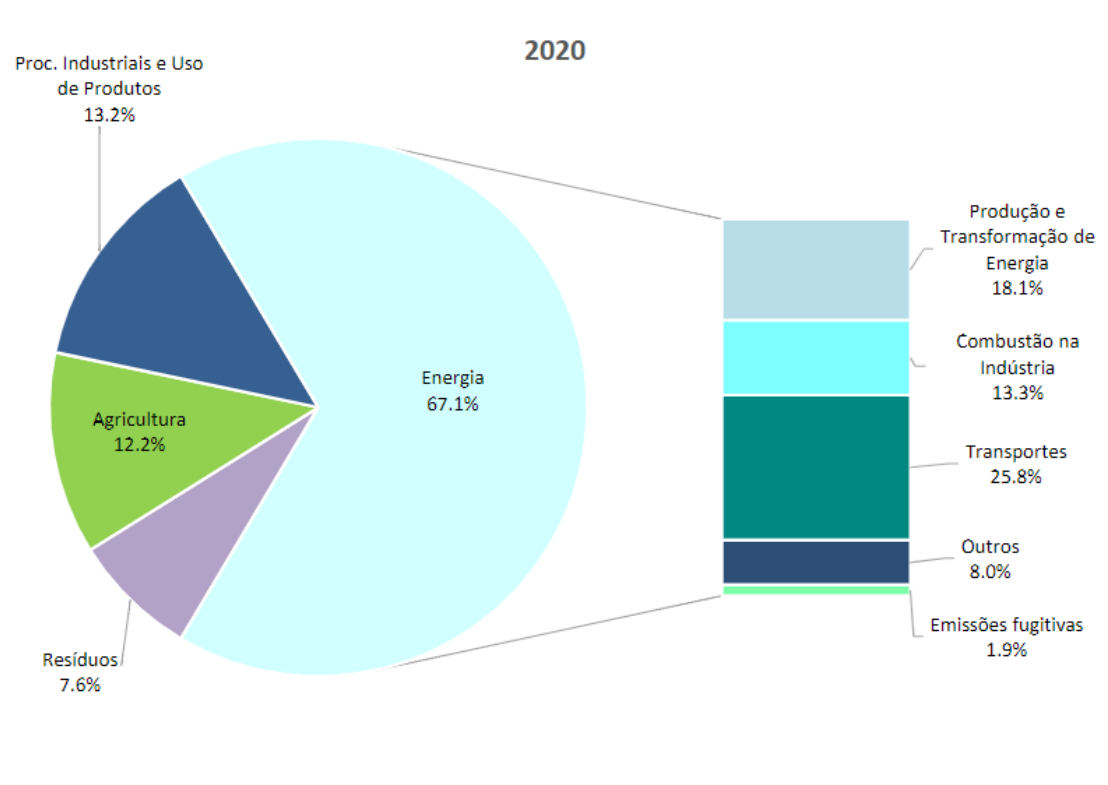


Figura 1 - Emissões CO<sub>2</sub> em Portugal 2020 (APA, 2022)

Em Portugal, o setor da energia sempre foi o maior responsável pelas emissões de CO<sub>2</sub>, representando cerca de 67% do total das emissões de CO<sub>2</sub> em 2020. Dentro deste, o setor dos transportes é o mais importante, responsável por 25,8% das emissões, seguido pelo setor da produção e transformação de energia que é responsável por 18,1% (APA, 2022).

Os veículos movidos a célula de combustível (FCVs) surgiram recentemente como impulsionador da mudança (Shin et al., 2019). A Economia do H<sub>2</sub> propõe

o seu uso numa célula de combustível, uma solução mais eficiente, para substituição dos motores de combustão interna. Essa tecnologia é viável desde que o H<sub>2</sub> possa ser fornecido a baixo custo (Seddon, 2022). Existe, ainda, outra forma de descarbonizar o transporte: utilizando o H<sub>2</sub> como combustível alternativo em motores a diesel. A sua utilização permite o aumento da eficiência térmica sem exigir mudanças significativas do motor (Cernat et al., 2020). Existem alguns entraves nesta abordagem como o menor alcance face aos ICes (*Internal Combustion Engines*), dada a baixa densidade volumétrica de energia, embora superior às baterias. A compressão necessária implica quantidades significativas de energia e, além disso, a engenharia para essa pressão exigiria um nível significativo de formação de segurança para os engenheiros e técnicos envolvidos (Seddon, 2022). Outro fator relevante é a prontidão da tecnologia porque é um pré-requisito para o sucesso do mercado nas respetivas áreas de aplicação de mobilidade (Shell & Wuppertal Institut, 2017). Importa ainda salientar que, embora o uso de H<sub>2</sub> não conduza a emissões relevantes de GEE, o processo a montante pode ser relevante (Ball & Wietschel, 2009). A figura 2 esquematiza a cadeia de valor do hidrogénio na mobilidade (República Portuguesa, 2020).

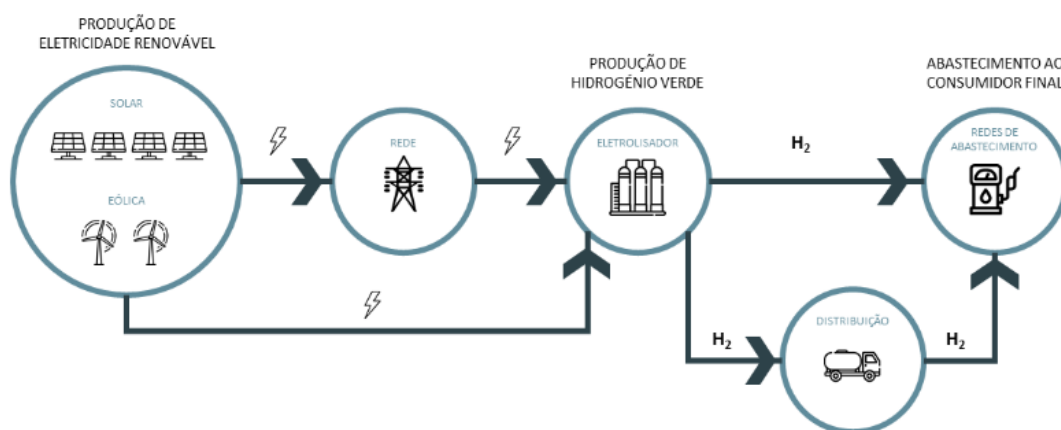


Figura 2 - Cadeia de valor do hidrogénio na mobilidade em Portugal (República Portuguesa, 2020)

## 2.3 Plano de ação português

Em Portugal, são propostas várias iniciativas visando a economia do hidrogénio como a preparação de legislação, regulamentação e enquadramento normativo, apoio de projetos em diferentes setores e escalas, etc. A aplicação do H<sub>2</sub> é projetada para a produção de eletricidade e calor, para a injeção na rede de gás natural e para a aplicação à mobilidade – que se espera acontecer antes de 2030, sobretudo nos transportes pesados e, só depois, em soluções individuais. A figura 3 indica uma estimativa sobre o número de estações de abastecimento e veículos, em Portugal, até 2040 (DGEG & República Portuguesa, 2019).

	2020	2025	2030	2035	2040
Estações de abastecimento (capacidade de 60 kg H <sub>2</sub> /hora com taxa de ocupação de 50%)	0	10	30	50	100
Veículos ligeiros em circulação	0	2 000	5 000	50 000	100 000
Veículos pesados em circulação	0	500	2 000	3 000	5 000

Figura 3 - Estimativa sobre a evolução da economia de hidrogénio até 2040 (DGEG&República Portuguesa, 2019)

Portugal reconhece o H<sub>2</sub> como vetor fundamental para a descarbonização da economia nacional, como pode ser observado pelas vantagens evidenciadas na figura 4 (República Portuguesa, 2020).

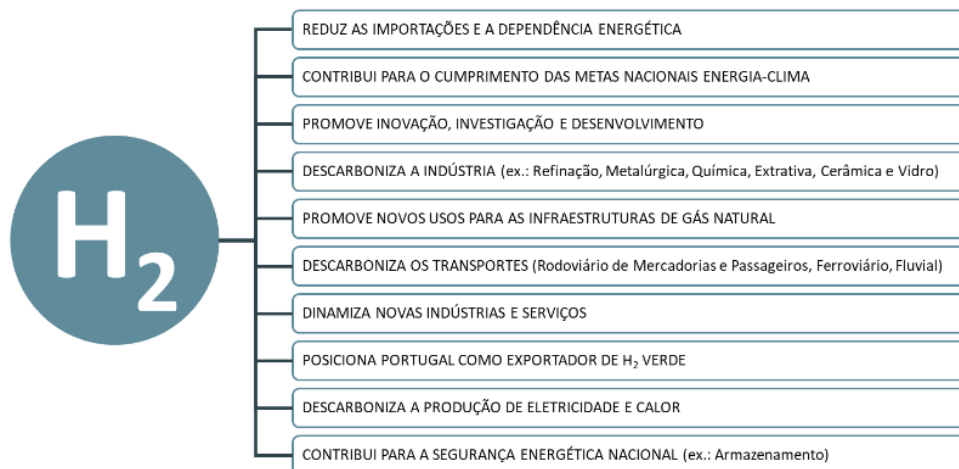


Figura 4 - Hidrogénio enquanto vetor fundamental para a descarbonização da economia nacional (República Portuguesa, 2020)

O objetivo português passa por utilizar 5% de H<sub>2</sub> no consumo do transporte rodoviário e ter entre 50 e 100 estações de abastecimento de H<sub>2</sub> em 2030, para os quais têm surgido várias iniciativas como mecanismos de apoio à produção de H<sub>2</sub> verde (República Portuguesa, 2020).

## 2.4 Conhecimento e perceções sobre as tecnologias de hidrogénio

O sucesso da tecnologia do hidrogénio depende da sua aceitação pública, sendo importante entender os fatores psicológicos que a influenciam. As emoções associadas às vantagens, riscos e custos são fortes influenciadores da aceitação (Scovell, 2022). Não há consenso na literatura sobre se existe ou não conhecimento sobre a tecnologia. Um estudo feito em Espanha descobriu que existe elevada consciência da existência de investigação sobre o H<sub>2</sub> como combustível e que o público é favorável dado o desempenho ambiental e adequação para o sistema de transporte público (Iribarren et al., 2016). Contrariamente, (Zimmer & Welke, 2012) argumenta que há falta de conhecimento porque no quotidiano a tecnologia de H<sub>2</sub> e FCV não aparece. No entanto, a população tem uma atitude positiva em relação aos FCVs justificada pela possibilidade de deslocação sem prejudicar o meio ambiente, aliviando o sentimento de culpa, colocando como condição obrigatória que o H<sub>2</sub> seja verde.

Atributos sociodemográficos (idade, duração da educação e sexo) têm impacto indireto na aceitação do H<sub>2</sub> por influenciarem o nível de conhecimento (Tarigan et al., 2012).

A preocupação com a poluição atmosférica, o nível de educação e, uma vez mais, o conhecimento da tecnologia também impactam o valor que os

utilizadores estão dispostos a pagar. A longo prazo, isso sugere que os decisores políticos devem fomentar a conscientização sobre os FCVs e os impactos na poluição do ar, uma vez que ambos os fatores aumentam o “*willingness to pay*” (Mourato et al., 2004).

A experiência prévia de um veículo tem também elevada influência na percepção pública. Num estudo de (Lipman et al., 2018) percebeu-se que a opinião sobre os FCVs melhora substancialmente após a experimentação. Ainda assim, a falta de infraestrutura é assinalada como a principal barreira à aquisição.

Ao contrário do que foi encontrado pela maioria dos autores, (Tarigan et al., 2012) concluiu que a aceitação do H2 diminui com o conhecimento, evidenciando um maior suporte para o desenvolvimento do H2 por indivíduos com menor conhecimento. Por outro lado, o conhecimento do H2 parece ter um efeito positivo indireto na aceitação pela via da sustentabilidade.

## 2.5 Principais benefícios e motivações

O objetivo dos FCVs é resolver os problemas de dependência do petróleo, emissões de GEE e poluição do ar urbano. O investimento nestas novas tecnologias é necessário para evitar os custos sociais que advirão do uso continuado de combustíveis fósseis no setor automóvel (Hardman et al., 2017).

Os FCVs apresentam diversos benefícios face aos ICEs: elevada economia de combustível, melhoria de desempenho, status de alta tecnologia e silêncio do funcionamento (Hardman et al., 2016). Também incluem novidades eletrónicas, possuem baixos requisitos de manutenção e possuem funções diferenciadas como fornecimento de energia elétrica remota (para zonas de obras, uso recreativo, etc.) (National Research Council & National Academy of Engineering, 2004). Do mesmo modo, para (Shell & Wuppertal Institut, 2017), as vantagens

mais importantes dos FCVs no transporte são a maior eficiência do conversor de energia, a operação não poluente e a funcionalidade comparável aos veículos com motores ICE estabelecidos. Portanto, os FCVs atraem clientes orientados ambientalmente, tecnologicamente ou para a performance. Comparativamente aos BEVs, os FCVs têm vantagem relativamente à maior autonomia e ao menor tempo de reabastecimento. Os FCVs são a opção de descarbonização mais promissora para camiões, autocarros, navios, comboios, veículos grandes e veículos comerciais, onde a menor autonomia, altos custos iniciais e demora na recarga de baterias são grandes desvantagens. Os FCVs também requerem significativamente menos matérias-primas em comparação com VEs e ICEs. Além disso, a infraestrutura de abastecimento de hidrogénio tem vantagens: requer apenas cerca de um décimo do espaço nas cidades e ao longo das estradas, em comparação com o carregamento rápido. Do mesmo modo, os fornecedores podem providenciar hidrogénio de forma flexível, enquanto uma infraestrutura de carregamento rápido exigiria atualizações significativas da rede. Uma vez que a implantação mínima ocorra, o hidrogénio será comercialmente atraente para os operadores. Na aviação, o hidrogénio e os combustíveis sintéticos à base de hidrogénio são a única opção à escala para a descarbonização direta (FCH & União Europeia, 2019).

No entanto, os benefícios sociais como as vantagens ambientais, socioeconómicas ou de segurança energética, não afetam a aceitação da tecnologia pelos indivíduos, mesmo sendo reconhecidas. A verdadeira influência reside na exposição à tecnologia de H<sub>2</sub> que leva à confiança na mesma, provocando posteriormente a sua aceitação (Hienuki et al., 2019). Embora a aceitação seja um requisito, os principais motivos para a compra de um veículo são os aspetos económicos (custos de operação e manutenção) e socioambientais (compromisso pessoal com o meio ambiente) (Iribarren et al., 2016).

## 2.6 Principais barreiras

As principais barreiras aos AFVs estão normalmente relacionadas com limitações técnicas, viabilidade comercial e disponibilidade de mercado (Browne et al., 2012).

As questões económicas (custo atual) e técnicas (disponibilidade de postos de abastecimento, características do veículo) são as principais barreiras à adoção. A penetração no mercado em massa, levando a preços acessíveis, é um requisito social fundamental para a aquisição de um FCV (Iribarren et al., 2016). Um estudo dinamarquês descobriu que a disposição de aceitar ou comprar um FCV num futuro próximo é influenciada pela atitude ambiental dos indivíduos, o preço do H2, o custo de aquisição dos FCVs e a orientação da publicidade (Apostolou & Welcher, 2021). Segundo (Browne et al., 2012), as principais barreiras são a disponibilidade de combustíveis e de tecnologias alternativas com carregamento acessível, a médio prazo. A falta de infraestrutura de reabastecimento é a principal barreira no longo -prazo.

A existência de opções alternativas e a reduzida quantidade de veículos a H2, indica um cenário desfavorável para se promover, pelo menos no curto prazo (Bairrão et al., 2023). Trata-se de uma inovação de alto preço que concorre diretamente com ICEs e BEVs. E, claramente, existe uma preferência por BEVs no mercado por causa das diferenças de infraestrutura e preços (Shin et al., 2019). É necessário que os veículos tenham benefícios funcionais para que os consumidores pretendam adotá-los (Hardman et al., 2016). A abordagem inicial ao mercado exige que haja um apelo especial em alguns nichos de mercado, ou seja, deve ser direcionada para públicos que valorizem determinadas características (National Research Council & National Academy of Engineering, 2004). Por outro lado, conforme a produção aumente, a diferença entre o custo

dos FCVs e BEVs vai-se esbatendo e os FCVs vão constituindo uma alternativa real aos BEVs ao possuírem custos de propriedade comparáveis e vantagens adicionais como maior conforto, maior alcance e tempos de carregamento mais curtos (Shell & Wuppertal Institut, 2017).

É de salientar que existe uma relação bidirecional entre a infraestrutura de H2 e os veículos movidos a H2, normalmente intitulada como “o problema do ovo e da galinha”. Os investimentos em postos de abastecimento não existirão enquanto não houver FCVs suficientes e, por outro lado, não serão disponibilizados veículos no mercado enquanto não for assegurada a infraestrutura de reabastecimento (Schwoon, 2006). Esta relação implica que a rede de postos de abastecimento deve ser desenvolvida simultaneamente com a introdução de veículos movidos a H2 (Apostolou & Xydis, 2019).

Embora a maior parte dos autores refira entraves económicos, (Shell & Wuppertal Institut, 2017) argumenta que o consumo dos AFVs, por quilómetro percorrido é menor do que os ICEs. Os custos de combustível são determinados não só pelos preços do combustível, mas também pela eficiência do automóvel. Embora o preço dos combustíveis alternativos seja superior aos combustíveis fósseis (figura 5), como os veículos alternativos são mais eficientes do que os veículos convencionais, o seu custo de utilização por 100 km é menor. E, a partir de um menor custo de exploração consegue-se custos de propriedade mais favoráveis conforme se aumenta a utilização do veículo (figura 6).

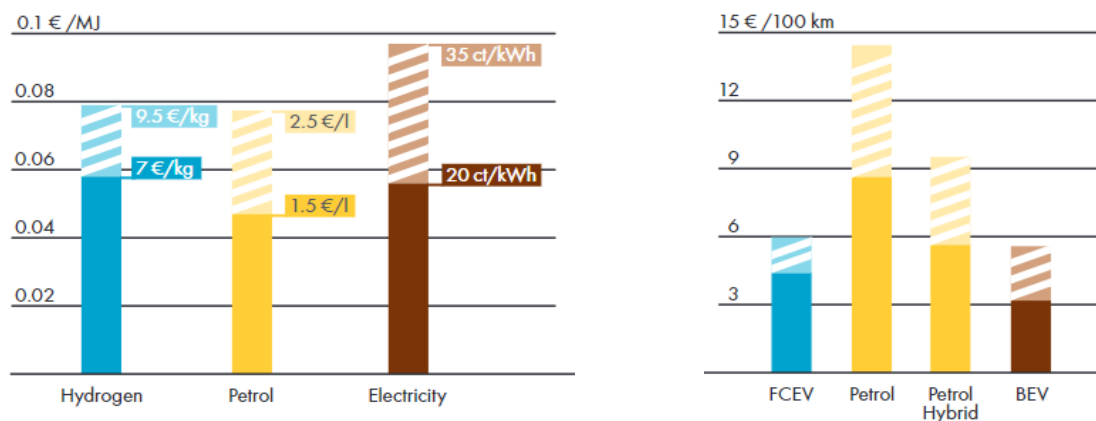


Figura 5 - Custo do combustível, a preços europeus (Shell & Wuppertal Institut, 2017)

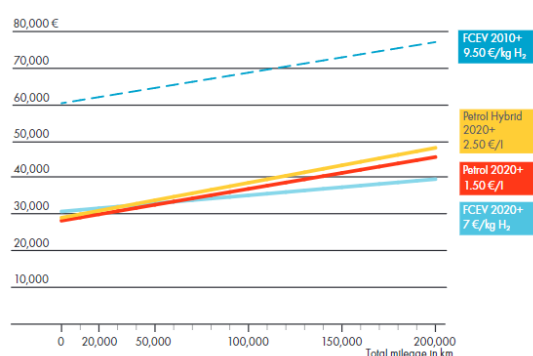


Figura 6 - Custos de propriedade, por tipo de veículo (Shell & Wuppertal Institut, 2017)

Já para (Hardman et al., 2017), as principais barreiras são a falta de infraestrutura de abastecimento, a proveniência do H<sub>2</sub>, a impossibilidade de recarregamento em casa, custo e questões de segurança. No entanto, segundo (Zimmer & Welke, 2012), esta preocupação sobre a existência de dúvidas de segurança do público em geral não pode ser fundamentada e, no seu estudo, os entrevistados não acreditavam que os postos de abastecimento de H<sub>2</sub> fossem mais perigosos que os convencionais. Há ainda uma associação da introdução de FCVs com o maior número de acidentes pelo menor ruído produzido. No entanto, não há evidência empírica que suporte este argumento, para além de que o ruído é um sério problema social de transporte e há soluções técnicas preferíveis para prevenir acidentes (Ball & Wietschel, 2009).

## 2.7 Principais soluções e projeções futuras

A importância da aceitação na introdução de novos produtos e tecnologias justifica uma necessidade de exposição do produto, educação formal e marketing antes que uma introdução seja tentada (Schulte, 2004). O nível de conhecimento relativamente baixo do público indica que as campanhas de conscientização serão benéficas (Lipman et al., 2018). As opiniões positivas são caracterizadas por baixos níveis de força e estabilidade de atitude que melhoram quando é apresentada informação. Assim, as campanhas de informação são uma ferramenta valiosa no aumento da conscientização e influência positiva nas atitudes em relação à tecnologia, devendo ser sempre enfatizado o desempenho ambiental positivo (Bögel et al., 2018). Da mesma forma, a influência de fatores psicológicos leva à necessidade de adequação da comunicação e das políticas, reduzindo as percepções de risco e custos e evidenciando as vantagens (Scovell, 2022). As preocupações de segurança podem ser, de igual modo, abordadas através de educação e divulgação (Hardman et al., 2017). Os decisores políticos devem ainda providenciar oportunidades experimentais considerando a melhoria significativa das percepções após a experiência com FCVs (Lipman et al., 2018).

A falta de infraestrutura de abastecimento é uma das maiores barreiras à adesão. É altamente improvável que as forças de mercado por si só provoquem a instalação rápida e coordenada de inúmeras estações distribuídas uniformemente, incluindo em áreas de menor rentabilidade, para garantir a confiança do consumidor. Apenas investimento coordenado e regulamentado garantiria que os dois tipos de estações fossem implantados (M. Melaina, 2003). No desenvolvimento das estações é sugerida a inovação e *standardização* dos projetos, simplificação do licenciamento e foco na experiência do utilizador final (M. W. Melaina et al., 2015). Será, assim, necessário o pré-desenvolvimento de

uma infraestrutura de H2 (Hardman et al., 2017). Prevê-se um crescimento substancial após 2025 através de um maior desenvolvimento técnico e redução de custos dos FCVs e pela redução do investimento necessário para a construção da infraestrutura adequada (Apostolou & Xydis, 2019). No entanto, o risco de subutilização significativa no início do processo justifica o apoio financeiro para a expansão da infraestrutura (Shell & Wuppertal Institut, 2017). A par do seu desenvolvimento, é necessário que as estações de abastecimento assegurem a obtenção de H2 da fonte mais ecológica (Hardman et al., 2017).

As estratégias de desenvolvimento da rede de abastecimento em Portugal derivam também da estratégia de recuperação económica, em resposta à crise decorrente da pandemia de COVID-19 (Ala et al., 2021). A implementação das tecnologias do H2 resultará na redução das emissões de GEE em Portugal ao nível de 1,5% até 17% das emissões necessárias para atingir a meta climática de 2030 e, ainda, auxiliará na recuperação económica através da criação de postos de trabalho, investimentos e programas de apoio de valores consideráveis (Giers, 2022). Estima-se que cada 10% de diminuição das emissões de CO2 gere um aumento de cerca de 4% no emprego e de cerca de 0,45% do PIB, o que significa que as políticas propostas são benéficas para a economia (Nunes et al., 2019).

Por outro lado, o desenvolvimento da rede terá de ser sincronizado com a expansão das Frotas FCV. Estima-se, num cenário ambicioso, que os avanços e efeitos de escala na produção e desenvolvimento do mercado tornem os FCVs muito mais económicos. Além disso, os custos de produção de H2 podem cair a médio e longo prazo (Shell & Wuppertal Institut, 2017). Após algum tempo da aplicação destes apoios espera-se que, com as economias de escala e desenvolvimento do mercado, a tecnologia atinja um patamar mais competitivo e seja possível diminuir o apoio financeiro (KELES et al., 2008).

A implantação de fortes limitações de circulação de veículos é essencial para garantir a adoção de AFVs (Nunes et al., 2019). No entanto, a proibição de

veículos poluentes e metas obrigatórias podem resultar em custos adicionais para os consumidores, para a indústria automóvel, bem como limitar a escolha do consumidor (Browne et al., 2012).

O sistema nacional de Investigação e Inovação deve ser apoiado financeiramente e institucionalmente para que possa suportar o desenvolvimento do mercado ao longo do tempo. É também fundamental promover a transferência de conhecimentos entre centros de investigação, universidades e empresas (APQuímica, 2020).

Por fim, será necessária a colaboração entre setores e também uma forte cooperação internacional para assegurar o crescimento em massa do mercado dos FCVs (Scipioni et al., 2017). A cooperação internacional pode aumentar a eficiência na medida em que permite alavancar recursos e criar abordagens técnicas e organizacionais inovadoras para a economia do hidrogénio, para além de permitir a partilha de conhecimentos (Crabtree et al., 2004).

## 2.8 Síntese

A economia do hidrogénio será a grande solução para a descarbonização em massa da economia, incluindo o setor dos transportes. Portugal começa a dar os primeiros passos nestas tecnologias ao estabelecer metas e implementando várias iniciativas neste sentido. O nível de conhecimento e conscientização sobre as tecnologias de hidrogénio é fundamental para a adoção. Os principais objetivos são diminuir a dependência do petróleo, das emissões de GEE e poluição do ar. Os benefícios de utilização são a eficiência e economia de combustível, o desempenho, o funcionamento silencioso, a incorporação de tecnologia recente, baixos requisitos de manutenção e a possibilidade de fornecimento de energia remota, operação não poluente e a funcionalidade

comparável aos veículos ICE. Relativamente aos BEVs, há vantagens associadas à maior autonomia e aos rápidos reabastecimentos. As principais motivações para a compra são fatores ambientais, tecnológicos ou de performance. As principais barreiras têm a ver com questões de custo - dos veículos e do combustível - e técnicas - a disponibilidade de postos de abastecimento. Para além destas, temos outras como a disponibilidade de combustível, a existência de tecnologias alternativas, reduzida quantidade de veículos e a fonte de H<sub>2</sub>. Salienta-se a existência de um problema de "ovo e galinha" relativamente à disponibilidade de veículos e de estações de abastecimento. As principais soluções são o desenvolvimento de infraestrutura de abastecimento, a expansão das frotas FCV e o desenvolvimento de políticas de suporte ao mercado, apoio à investigação e inovação e cooperação entre setores e internacional.

A existência de múltiplas opiniões associadas a diferentes contextos não permitem retirar conclusões sobre os parâmetros que afetam, efetivamente, a baixa adoção dos FCVs em Portugal, dadas as especificações do próprio país. Não se sabe, também, quais são as soluções mais apropriadas a ser implementadas no contexto português. Ou seja, são levantadas algumas questões como: porque é que a implementação dos FCVs, em Portugal, não está estabelecida? Porque está tão atrasada, face aos outros países? Será que em Portugal há conhecimento sobre o hidrogénio e sobre os FCVs? Quais são os motivos que levam as pessoas, em Portugal, a não aderir? E quais é que levam a adotar? Que medidas é que a população sugere? Relativamente a medidas estatais, será que Portugal está a fazer o suficiente? Portanto, todas estas questões específicas sobre o mercado português levam-nos à questão geral: Quais são os principais fatores que influenciam a adoção dos FCVs em Portugal, na mobilidade?

Da revisão da literatura resultou o seguinte *framework* (Figura 7).

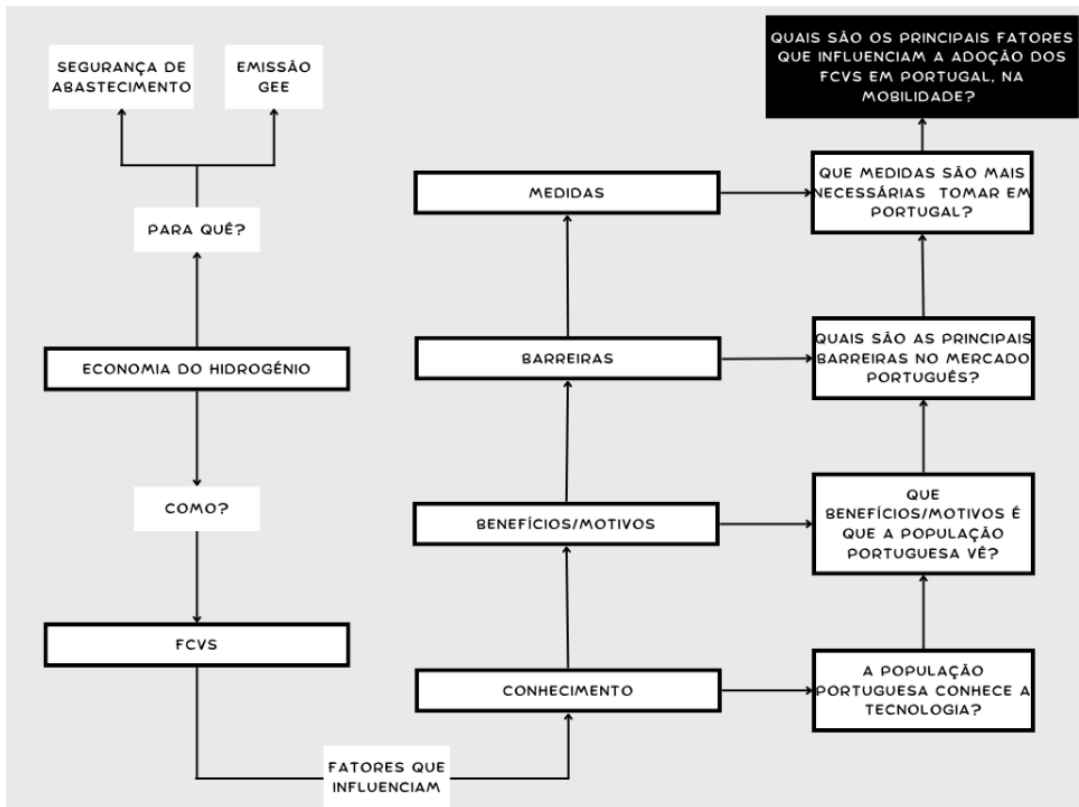


Figura 7 - Síntese sobre a revisão de literatura

## 3. Metodologia

### 3.1 Metodologia de investigação

A presente investigação apoiou-se numa metodologia qualitativa justificada pela subjetividade da realidade que depende da posição e visão do sujeito que responde. A variável em estudo é complexa porque depende de múltiplos fatores que não são diretamente mensuráveis. Há um objetivo descritivo e analítico de forma a captar as perspetivas dos entrevistados e sumarizar as principais variáveis envolvidas, detetando padrões. Destaca-se o propósito exploratório: compreender o porquê do uso do hidrogénio não estar disseminado. É uma abordagem focada no presente sem controlo dos eventos, procurando apenas perceber como decorrem esses eventos.

Assinala-se uma estratégia dedutiva na medida em que foi identificada uma situação a ser explicada e, através da literatura, foram identificados possíveis fatores explicativos dessa situação. De seguida, através das entrevistas, obteve-se informações que permitiram a verificação da significância e adequabilidade desses fatores, resultando numa explicação do problema. Para tal, considerou-se adequada uma estratégia de pesquisa de inquérito (Gray, 2017).

Na presente investigação, foi selecionada a amostragem intencional, ou seja, um tipo de amostragem não probabilística em que não há um processo aleatório

associado à amostragem e, portanto, não é possível garantir que todos tenham igual probabilidade de ser incluídos. O princípio de seleção consistiu na avaliação do potencial de relevância para o estudo. Assim, não há objetivo de representatividade de populações, mas sim de obter novas perspectivas sobre o tema. A dimensão da amostra é reduzida pela morosidade do processo de entrevista, mas que se considera suficiente dado que não se pretendia utilizar a inferência estatística.

Face ao exposto, os métodos de recolha de informação possíveis seriam as entrevistas ou os questionários. O método eleito foi a entrevista porque se pretendia absorver todos os possíveis *inputs* e perceções existentes e não apenas recolher um “resumo” das mesmas, como aconteceria se fosse utilizado um questionário. A maior abrangência das respostas abertas pode ser associada à maior facilidade da comunicação verbal face à comunicação por escrito. As respostas fechadas, características de um questionário, poderiam aniquilar o contexto exploratório da pesquisa (Salkind, 2018).

## 3.2 Desenho da investigação

O objetivo da investigação é a interpretação de várias perspectivas para retirar conclusões acerca do problema em estudo: os principais fatores que influenciam a adoção dos FCVs, em Portugal, na mobilidade, como o conhecimento da tecnologia, os benefícios, as barreiras e, ainda, possíveis medidas a implementar. Relativamente à escolha da amostra, e tendo em conta o desconhecimento do tema, procurou-se garantir que o entrevistado possuísse um bom *background* para transmitir uma opinião completa e estruturada. Assim sendo, foram selecionados indivíduos associados a empresas com projetos na área da produção, transporte, armazenamento e utilização de hidrogénio. Após a revisão de literatura, foi

estruturado o *framework* que consta na figura 8. Note-se que as minhas próprias expectativas estão implícitas no esquema apresentado.

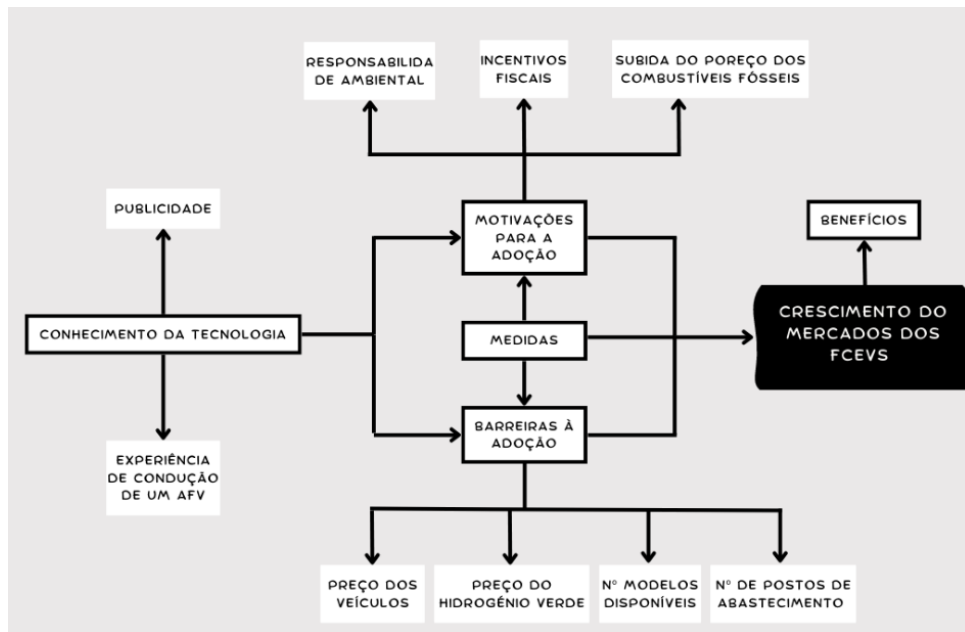


Figura 8 - Framework de investigação

Portanto, a partir do esquema apresentado, foi possível desenhar as principais variáveis de análise – os fatores que podem influenciar a adoção do hidrogénio na mobilidade, em Portugal:

- Preço dos veículos
- Preço do hidrogénio verde
- Subida dos preços dos combustíveis e a incerteza/dependência energética
- Conhecimento da tecnologia
- Publicidade dos veículos
- Condução prévia de um AFV
- Número de postos de abastecimento
- Incentivos fiscais
- Número de modelos disponíveis
- Responsabilidade ambiental
- Medidas a implementar
- Benefícios dos FCEVs

A partir do processo acima descrito construiu-se uma amostra de dimensão média – quinze entrevistas - para que se obtivesse uma amostra robusta que permitisse uma análise abrangente. Foram, assim, realizadas doze entrevistas por videochamada e uma entrevista presencial. Existiram, ainda, dois casos de entrevistas que foram efetivadas via email, uma vez que os entrevistados não se mostraram disponíveis para entrevista e, por iniciativa própria, responderam às questões por escrito, perfazendo assim as quinze entrevistas referidas anteriormente. A lista das entrevistas realizadas consta na tabela 1.

<b>Empresa</b>	<b>Cadeia de valor</b>	<b>Cargo</b>	<b>Tipo entrevista</b>
<b>EDP Renewables</b>	Produção	Associate Director, Hydrogen Strategy & Origination	Videochamada
<b>AP2H2</b>	N.A.	Presidente da AP2H2	Videochamada
<b>MadoquaPower2X</b>	Produção	Engenheiro de Projeto principal	Videochamada
<b>Rega Energy</b>	Produção	Business Developer	Videochamada
<b>Martifer Renewables &amp; Energy</b>	Produção	Project Director	E-mail
<b>CP</b>	Consumo	Manutenção e Engenharia – Novos projetos	Videochamada
<b>PRF</b>	Transporte	Hydrogen Project Manager	Videochamada
<b>Galp</b>	Produção	“Hydrogen Business Development”	Videochamada
<b>Cascais Próxima</b>	Consumo	Presidente do Conselho de Administração da Cascais Próxima	Presencial
<b>Galp</b>	Produção	Green Hydrogen Finance, Funding and Commercial (CFO)	Videochamada
<b>NeoGreen Hydrogen</b>	Produção	Founder, Chairman and Board Member	E-mail
<b>Efacec</b>	Produção	Business Unit Director	Videochamada
<b>Iberdrola</b>	Produção	Key Account Manager	Videochamada
<b>Galp</b>	Produção	Senior Project Manager	Videochamada
<b>Caetano Bus</b>	Consumo	Sales Director	Videochamada

Tabela 1 - Lista de entrevistas realizadas

Os dados qualitativos resultantes são variados porque dependem da interpretação de cada entrevistado. Assim, é necessária uma análise cuidadosa para garantir que não haja interpretações erradas. Surgiu uma necessidade de transcrição integral das entrevistas para assegurar a preservação do conteúdo de cada resposta aberta, associando partes dos dados em grupos de acordo com temas estabelecidos para que a informação fizesse sentido na estruturação da resposta à questão de investigação. A análise foi, assim, efetuada através da interpretação dos discursos, classificação dos argumentos em categorias e análise através de conceptualização, usando como auxiliar o programa de análise qualitativa “NVivo”. Cada entrevista gerou um documento individual que foi inserido no software de análise de dados qualitativos “NVivo” para que a informação pudesse ser categorizada.

A estratégia adotada para análise de dados foi a *Thematic Analysis* com o objetivo de reconhecer padrões e temas relevantes através dos dados, com uma perspectiva objetiva (captando diretamente o que é dito pelo entrevistado, sem procurar interpretações secundárias) (Saunders et al., 2016). A abordagem dedutiva escolhida implica que se analise a informação à luz da teoria existente que, em conjunto com os objetivos da pesquisa, permitem que surjam temas e padrões que ditam a direção da análise, em vez de analisar toda a informação recolhida (como acontece com a abordagem indutiva). Portanto, foi feita a análise da literatura existente e a definição de um *framework* inicial, como indicado anteriormente. É de destacar a flexibilidade que é dada, neste tipo de análise, para a sucessiva adaptação do *framework* aos dados recolhidos, o que foi muito útil perante a necessidade de recodificar e recategorizar de forma constante (Saunders et al., 2016).

Para organizar e direcionar a análise de dados, foram identificadas as principais categorias e variáveis e as suas relações. Dada a iteratividade do processo, foi necessário adaptar várias vezes os tópicos inicialmente propostos e,

também, as ligações existentes. Dadas as alterações que foi necessário efetuar, justificadas pela evolução do conteúdo captado pelas entrevistas, pode-se afirmar que a análise, embora com uma perspectiva dedutiva, contém alguns elementos indutivos uma vez que a estrutura foi sendo alterada em função de novos *inputs* que surgiam, incluindo tópicos adicionados, descartados, reestruturados, renomeados, etc.

Mais particularmente, no âmbito da análise temática, foi selecionado um tipo específico da mesma: *Template Analysis*. Esta foi a abordagem eleita para que o tema e as relações pudessem ser pensados à luz de toda a informação recolhida e, assim, garantir uma análise mais holística dos dados. O processo iniciou-se com códigos definidos à luz da literatura e que foram sendo atualizados para melhor se adequarem à investigação para códigos *in vivo*. Esta constante procura pela melhor nomeação possível dos códigos foi necessária para garantir consistência no processo de análise (Saunders et al., 2016).



## 4. Apresentação e análise de resultados

### 4.1 Apresentação de resultados

A análise de literatura permitiu o estabelecimento de um *framework* conceptual (figura 8) sobre a questão de investigação: quais são os principais fatores que influenciam a adoção dos FCVs em Portugal, na mobilidade? Pretende-se, assim, compreender as perceções de qualquer unidade económica de decisão – sejam famílias, empresas, entre outros.

O conhecimento da tecnologia pode impactar a adoção e pode ser estimulado através de publicidade e de uma experiência de condução de um AFV, seja um BEV ou FCV. Após o conhecimento da tecnologia, os indivíduos formam uma opinião, com motivações e barreiras, que influenciam a decisão. As motivações podem ser a responsabilidade ambiental, os incentivos fiscais ou a subida do preço dos combustíveis fósseis, associada a uma elevada dependência energética. Não foram incluídas motivações tecnológicas ou de performance por corresponderem a uma minoria não representativa da população. As barreiras à adoção podem ser o custo dos veículos, o custo do hidrogénio verde, o número de modelos disponíveis e o número de postos de abastecimento. Apenas foi considerado o hidrogénio verde pois é a opção que assegura os objetivos de descarbonização associados ao esforço de implementação desta tecnologia. Foram ainda consideradas as medidas a implementar e os benefícios de utilização que podem impactar de alguma forma a adesão. É de notar que

“benefícios” é um conceito diferente de “motivações” na medida em que benefícios são as vantagens como consequência da utilização enquanto as motivações são os fatores que levam à realização dessa aquisição.

A análise dos dados recolhidos originou alterações nos códigos tais como adições, eliminações, renomeações, entre outros, evidenciadas nas tabelas 2, 3, 4, 5 e 6. Não foi apresentada a definição de cada código uma vez que as terminologias usadas têm caráter nominal e objetivo, refletindo o próprio significado das palavras escolhidas.

A tabela 2 evidencia os resultados obtidos sobre o conhecimento da tecnologia.

<b>Código inicial</b> <i>(Código Final)</i>	<b>Citações</b>
Conhecimento da tecnologia  <i>(Conhecimento da tecnologia)</i>	“o mais crítico aqui nem é o desconhecimento do público em geral, mas sim das pessoas que acabam por tomar as decisões”  “O desconhecimento da tecnologia, sem dúvida alguma. E acho que (...) não existe, digamos, conhecimento do que é que é a segunda mão (...) de um carro elétrico, acho que mesmo o próprio crescimento da compra ou aquisição dos carros está dependente disso porque nós não sabemos (...) e isso traz alguma incerteza”
Publicidade  <i>(N.A.)</i>	“Neste momento, seria uma grande frustração eu fazer uma grande campanha de publicidade de viaturas a hidrogénio e depois eu ir ao <i>stand</i> à procura das viaturas a hidrogénio e não as encontrar”  “Eu diria que não, a publicidade poderá vir a partir do momento que o serviço esteja disponível...”
Experiência de condução de um AFV  <i>(N.A.)</i>	“Neste momento, eu acho que não. Acho que essas barreiras são mais importantes quando tu te comesças a aproximar da competitividade”  “Eu volto a dizer, isso vai acontecer sempre, mas temos que fazer isso dentro de um <i>roadmap</i> .”

Tabela 2 - Parte I - Conhecimento da tecnologia

A tabela 3 mostra os resultados relativamente às motivações para a adoção.

<b>Código inicial</b> <i>(Código Final)</i>	<b>Citações</b>
Responsabilidade Ambiental  <i>(Preocupação ambiental Imagem)</i>	“É o custo, é o custo. E os decisores em Portugal é custo puramente preço, a sustentabilidade raramente vai em primeiro plano...”  “(...) há pessoas que não se importam de pagar um bocadinho mais para sentirem que estão a salvar o planeta...”  “há o conceito a que nós chamamos o “license to operate” (...) estão preocupados com a mensagem que isso vai passar e com a maneira como depois a empresa vai ser selecionada no mercado”
Incentivos fiscais  <i>(N.A.)</i>	“Mas eu direi que antes de 2025 dificilmente esses incentivos vão ganhar expressão na medida que a oferta não é, ainda não vai ser significativa”  “Eu se tivesse um incentivo para tal, talvez ponderasse”
Subida do preço dos combustíveis fósseis  <i>(N.A.)</i>	“quanto mais for incentivada a transição, mais impostos vão pôr nos combustíveis fósseis e, portanto, eu diria que sim (...) mas só quando a tecnologia de hidrogénio verde tiver barata o suficiente para haver o mínimo”  “A produção de combustíveis fósseis consegue ainda ser bastante barata”

Tabela 3 - Parte II – Motivações para a adoção

A tabela 4 apresenta os resultados relativamente às barreiras à adoção

<b>Código inicial</b> <i>(Código Final)</i>	<b>Citações</b>
Preço dos veículos <i>(Preço dos veículos)</i>	<p>“Claro, porque nós quando fazemos um plano de negócios contabilizamos tudo (...). Se já temos uma exploração mais cara, o hidrogénio, se ainda por cima temos que investir mais, naturalmente, não me parece muito rentável”</p> <p>“Se formos para o equivalente elétrico, quanto é que custa um Tesla com aquelas características? (...) eu não acho que o preço seja assim tao caro para o carro que é”</p>
Preço do hidrogénio verde <i>(Preço do hidrogénio verde)</i>	<p>“O combustível ainda é muito caro. Nós não vemos que esteja na paridade dos combustíveis fósseis neste momento.”</p> <p>“O hidrogénio em si é mais caro que o diesel”</p>
Número de modelos disponíveis <i>(Número de modelos disponíveis)</i>	<p>“A minha grande preocupação é começar a haver uma oferta mais massificada. Enquanto eu não tiver essa oferta mais massificada, a adesão está muito limitada”</p> <p>“Eu acho que se houvesse mais modelos, nos ligeiros, talvez já mais pessoas a adotar, mas aos fabricantes não lhes compensa investir em modelos novos, porque sabem que vai ser um nicho muito, muito pequeno”</p> <p>“Não quero ser obrigado a ir comprar um Toyota Mirai, apesar de ser um apologista do hidrogénio. Não, não quero, não me apetece comprar aquilo”</p>
Número de postos de abastecimento <i>(Número de postos de abastecimento)</i>	<p>“Neste momento eu não compraria pela falta de postos de abastecimento, é o principal entrave, eu diria”</p> <p>“A rede inibe, se a rede for escassa, muito escassa inibe a aquisição de viaturas”</p>
N.A. <i>(Falta de legislação)</i>	<p>“Não existe em Portugal legislação que regule os postos de abastecimento a hidrogénio”</p> <p>“O mercado em si está altamente dependente da regulação que exista, se não houver regulação esta é a principal barreira”</p> <p>“Nós já sabemos que vai haver regulação, mas há uma incerteza muito grande em relação ao que vai acontecer”</p>
N.A. <i>(Concorrência do elétrico)</i>	<p>“A existência de uma alternativa mais madura (veículos elétricos), com custo mais reduzido, disponibilidade no mercado, larga rede de recarga e possibilidade de recarregar em casa a custo reduzido”</p> <p>“As pessoas, se quiserem decarbonizar, vão passar de carros a diesel para carros elétricos. Não faz sentido nenhum ter um carro a hidrogénio porque é muito mais caro e a logística não compensa.”</p>

Tabela 4 - Parte III – Barreiras à adoção

A tabela 5 reflete os benefícios reconhecidos da adoção.

<b>Código inicial</b> <i>(Código Final)</i>	<b>Citações</b>
Conforto  <i>(N.A.)</i>	“A condução do veículo elétrico é mais simples do que um veículo com motor de combustão interna” (considerando que um FCV é um tipo de veículo elétrico)
Desempenho e performance  <i>(N.A.)</i>	“Valorizar o meu binário de arranque, ou fazer a minha capacidade de aceleração dos 0 aos 100km em 7 segundos ou 8 segundos”  “É um motor com grande versatilidade, com uma capacidade de resposta extremamente rápida”
Emissão dos gases com efeito de estufa  <i>(Emissão dos gases com efeito de estufa)</i>	“Redução de emissões”  “Sustentabilidade, claramente”
Redução da poluição sonora  <i>(N.A.)</i>	“A questão do ruído, ou seja, sustentabilidade sonora”  “Não existe aquele ruído do motor que às vezes pode ou não ser incomodativo”
Segurança energética  <i>(Segurança energética)</i>	“A segurança de abastecimento do país (...) tem benefícios socioeconómicos”  “Ao produzir hidrogénio, eu deixo de depender dos combustíveis fósseis com todos os seus aspetos e incidências de natureza geopolítica”
Autonomia  <i>(Autonomia)</i>	“Permite autonomia entre os 500 e os 1000km sem grandes implicações enquanto as baterias, essa situação é condicionada”  “Em particular, nos subsectores rodoviário de transporte de mercadorias e de transporte de passageiros, com foco nos autocarros urbanos e de longo curso, o hidrogénio ganha vantagem face à alternativa elétrica a bateria, dadas as vantagens em termos de autonomia e eficiência, que se traduzem em significativos ganhos operacionais”
Peso  <i>(Peso)</i>	“Para o transporte aéreo, o peso é importante”  “O carro elétrico não é eficiente porque as baterias necessárias para deslocar um camião são tão pesadas que, quer dizer, tornam o próprio processo em si muito ineficiente. Isto faz com que se pense que a solução passe pelo hidrogénio”
Tempo de abastecimento  <i>(Tempo de abastecimento)</i>	“Enquanto no carro elétrico temos que esperar algum tempo (...) usando um carro a H2 pode ser mais ou menos equiparável aquilo que é a duração dos abastecimentos hoje em dia”  “Se eu tiver todos os autocarros elétricos, portanto, eles vão ter que carregar durante algum tempo (...), implica uma instalação por uma potência elétrica brutal e depois enquanto está a carregar não se pode fazer manutenções por questões de segurança para não haver descargas elétricas”

Tabela 5 – Parte IV – Benefícios

Por fim, a tabela 6 expõe as medidas sugeridas para potenciação da adoção.

<b>Código inicial</b> <i>(Código Final)</i>	<b>Citações</b>
Enquadramento legal  <i>(Enquadramento legal)</i>	<p>“É de vital importância que sejam globalmente implementadas e adoptadas políticas e directrizes que permitam desbloquear o seu desenvolvimento e consolidar toda a cadeia de valor do Hidrogénio verde”</p> <p>“Medidas de acção a adoptar deverá compreender desde acções no domínio legislativo e normativo”</p>
Taxação de carbono  <i>(Taxação de carbono)</i>	<p>“Alternativa será a EU estabelecer impostos em tudo o que seja “grey” de forma a tornar o H2 Verde competitivo”</p> <p>“E há outra coisa que é a taxaço do carbono. As taxas (...) vão tornar os combustíveis fósseis mais caros, e ao fazer isso vão tornar mais próximo da viabilidade o hidrogénio. Mas também as baterias”</p>
Subsídios (a veículos e hidrogénio verde)  <i>(Subsídios (a veículos e hidrogénio verde))</i>	<p>“Assegurar que o preço do hidrogénio para mobilidade compete com os hidrocarbonetos”</p> <p>“Só com o hidrogénio subsidiado é que neste momento, as pessoas vão optar por ele”</p> <p>“Medidas na aquisição dos carros, ou seja, para baixar o preço de mercado”</p>
Incentivos fiscais e não fiscais  <i>(Incentivos fiscais e não fiscais)</i>	<p>“Incentivos ao IUC, por exemplo, ou seja, retirar a obrigatoriedade de pagar imposto automóvel, de utilização das estradas”</p> <p>“Poder usar faixas de bus, eventualmente, ter uma série de discriminação positiva.”</p> <p>“Na aquisição, a carga fiscal para aquisição do veículo ser muito mais baixa (...) o cliente/utilizador ter um carro com 10 ou 15 ou 20 anos, a combustível fóssil, e o Estado até pagar para abate desse veículo, pagar se o cliente adquirir um a hidrogénio, por exemplo.”</p>
Investimento (projetos de produção, postos de abastecimento, pesquisa e desenvolvimento, etc.)  <i>(Investimento (projetos de produção, postos de abastecimento, pesquisa e desenvolvimento, etc.))</i>	<p>“Apoio a projectos e à adopção de novas tecnologias, tendo em conta as várias fases da cadeia de valor e de acordo com a maturidade destas mesmas tecnologias”</p> <p>“Apoiar o desenvolvimento das tecnologias. Acho que Portugal tem centros de desenvolvimento de tecnologia muito bons e devia apoiar isso para também promover o desenvolvimento de competências”</p> <p>“Agora, os postos de carregamento têm que ser fomentados, em parte por decisões governamentais não é, podem financiar alguma coisa, assim como financiaram também os postos de carregamento eléctricos.”</p>

Tabela 6 - Parte V – Medidas

## 4.2 Análise de resultados

A partir da análise dos dados foi possível retirar conclusões sobre a influência das variáveis de análise previamente propostas:

Variável de análise	Influência?
Preço dos veículos	✓
Preço do hidrogénio verde	✓
Subida dos preços dos combustíveis fósseis/dependência do petróleo	✗
Conhecimento da tecnologia	✓
Publicidade dos veículos	✗
Condução prévia de um veículo AFV	✗
Número de postos de abastecimento	✓
Incentivos fiscais	✗
Número de modelos disponíveis	✓
Responsabilidade Ambiental	✓

Tabela 7 - Conclusões sobre as variáveis de análise

Relativamente às medidas a implementar, concluiu-se que seriam medidas estatais, nomeadamente, o enquadramento legal, a taxação de carbono, subsídios, incentivos fiscais e não fiscais e investimento. Por outro lado, os benefícios que foi possível apurar prendem-se com a redução de GEE e a segurança energética.

No entanto, a representação esquemática inicial não é satisfatória. Assim, foi desenvolvido um novo framework que visa sumarizar todas as descobertas e relações deste estudo, conforme mostra a figura 9.

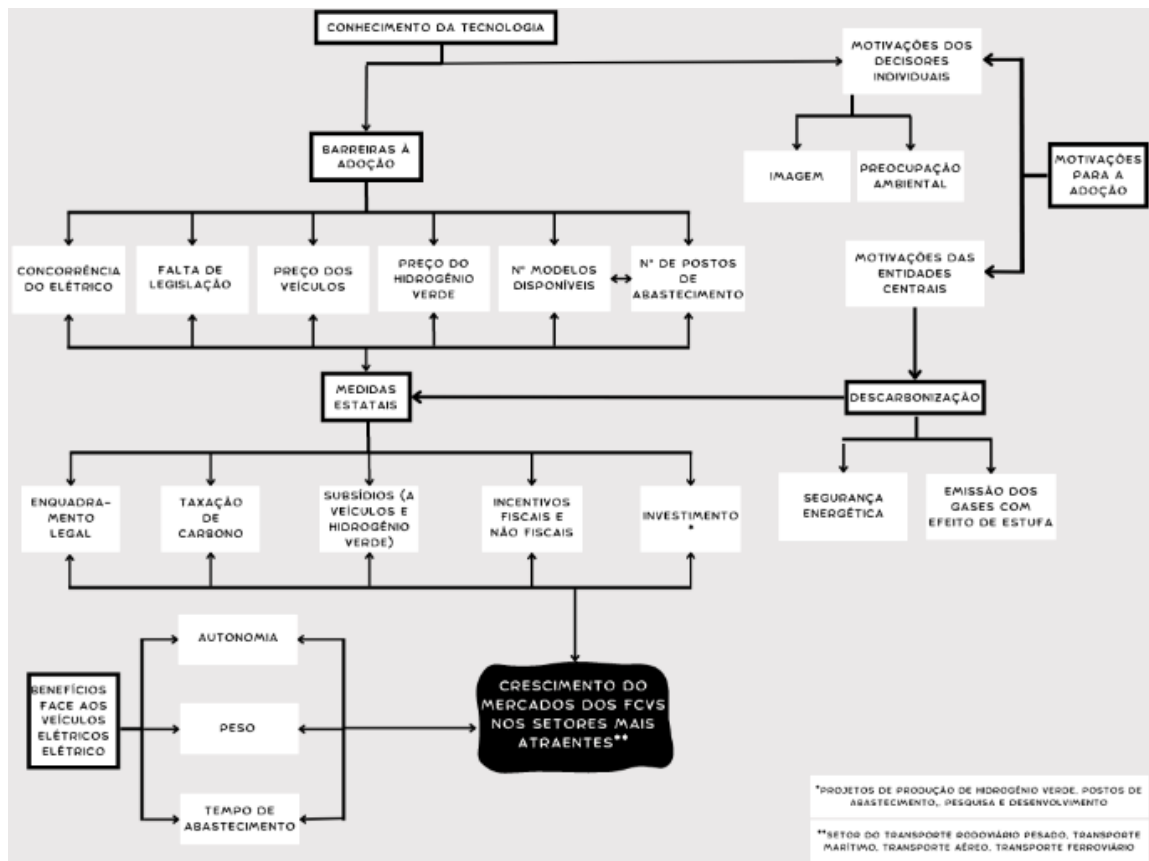


Figura 9 - Framework após análise de dados

Existe elevada incerteza associada à tecnologia devido seu desconhecimento generalizado, que gera dúvidas. Os próprios decisores, políticos ou privados, carecem de conhecimento, tomando decisões desenquadradas da realidade. Nem a publicidade nem a experiência prévia de condução de um AFV são estratégias plausíveis para aumento do conhecimento sobre os veículos porque não há condições de mercado, neste momento, que sustentem a aquisição e utilização.

Relativamente às motivações à adoção temos, em primeiro lugar, a responsabilidade ambiental. É uma consciência em evolução, existindo cada vez mais pessoas com esta preocupação. No entanto, o fator custo/lucro pesa mais no processo de decisão. Temos ainda a questão da responsabilidade ambiental como um fator estratégico, associada à questão da imagem empresarial. Quanto aos incentivos fiscais, os entrevistados consideraram que ainda não existem e/ou

ainda não fazem sentido dadas as barreiras à adoção. A subida do preço dos combustíveis fósseis não é fator suficiente para a mudança porque os combustíveis fósseis, embora mais dispendiosos, continuam a ser mais baratos. Deteta-se ainda uma expectativa de forte taxaço dos combustíveis fósseis no futuro.

As barreiras à adoção são várias. Relativamente ao preço dos FCVs, há uma tendência de comparação com o dos ICEs, considerando-se o preço do veículo uma barreira por ser superior. No entanto, há comparações com BEVs, não assinalando problemas de preço, embora reconheçam que ambas as tecnologias são mais caras do que os equivalentes a combustível fóssil. O preço do hidrogénio verde é também um problema, tendo sido considerado caro e não competitivo. No entanto, assinala-se uma perspectiva de decréscimo futuro do preço. A falta de modelos disponíveis no mercado é também relevante e explica-se pela falta de interesse dos produtores porque é um nicho de mercado, associado a reduzida procura. E, de facto, os consumidores pretendem ter poder de escolha. O número de postos de abastecimento é uma das maiores barreiras existentes atualmente porque há apenas uma estação em Portugal, neste momento. A inexistência de postos de abastecimento inibe a compra de veículos porque nenhum decisor optaria por um veículo que não pode abastecer. Por sua vez, nenhum investidor estará disposto a construir uma estação de abastecimento sem existirem veículos em circulação. É de assinalar aqui uma relação de elevada importância:

“O problema típico tradicional do dilema do ovo e da galinha (...). Para haver veículos a hidrogénio, neste caso, tem que haver estações de abastecimento.”

“Estamos aqui naquele ponto em que quem investe nas estações de abastecimento não quer investir já porque não há carros na rua, mas quem quer vender carros também quer que haja estações para haver procura”.

Foi possível apurar, ainda, duas barreiras para além das que estavam previstas no *framework* inicial. A falta de legislação e regulação constitui um entrave para a cadeia de valor do hidrogénio por gerar muita incerteza e deixar a cargo da iniciativa privada o crescimento do mercado que, sem apoio público, se pode esperar que seja muito lento. Por outro lado, a concorrência dos BEVs também é relevante porque, neste momento, é a opção de descarbonização mais vantajosa.

Os benefícios dos FCVs dividiram-se em duas categorias. A primeira, os benefícios face aos ICEs, partilhados com os BEVs, são o conforto de condução, capacidade de aceleração e performance, redução de emissão de GEE e aumento da segurança energética. Os primeiros dois benefícios não são relevantes porque levam à adesão dos BEVs, por serem mais atrativos, e não dos FCVs. Os dois benefícios seguintes estão associados às metas de neutralidade carbónica, que são objetivos de elevada importância para as entidades públicas. Embora estes benefícios também sejam partilhados com os BEVs, sabe-se que existem diretivas centrais para a aposta nos FCVs baseadas nestes benefícios. A classificação dos conceitos de segurança energética e descarbonização enquanto benefícios ao invés de motivações para a adoção, por parte dos entrevistados, realça que não são as verdadeiras motivações dos decisores, mas sim das entidades centrais que têm o maior interesse em colocar em prática a transição energética. Assim, constituem meros benefícios de adesão, mas não são gatilhos de decisão e, por este motivo, não podemos esperar uma dinamização dos agentes privados para a transição energética sem *guidelines* específicos e legislação do Estado e União Europeia porque, de facto, o que os move é a competitividade da tecnologia. Resta abordar os benefícios que os FCVs têm perante os BEVs como a maior autonomia, menor peso e menor tempo de abastecimento. Estes são os maiores problemas dos BEVs, que não satisfazem a totalidade das necessidades dos utilizadores, e que podem ser resolvidos com os FCVs.

As entidades centrais, como principais dinamizadoras e interessadas na transição energética são as únicas que podem colmatar as necessidades a que o mercado, por si só, não consegue dar resposta. A urgência para atingir as metas de neutralidade carbónica justifica o investimento na agilização de uma tecnologia que não está tecnologicamente madura. Quando questionados sobre as medidas que deveriam ser implementadas, os entrevistados apontaram maioritariamente medidas estatais, de forma direta ou indireta. A primeira delas é o enquadramento legal, através de medidas no domínio legislativo e normativo, permitindo o avanço dos projetos e maior segurança no mercado. Por outro lado, a taxaço de carbono permitirá tornar, artificialmente, as opções fósseis mais caras e incentivar a sua substituição. Note-se ainda que, ao incentivar a substituição dos ICEs, será incentivada a aquisição de BEVs. A subsidiação do hidrogénio verde é outra forma de tornar o preço do hidrogénio mais competitivo. São também necessários subsídios para a aquisição de veículos, principalmente a nível de frotas, motivando a sua substituição pela redução do preço dos veículos. Até porque, como referido anteriormente, a maioria dos agentes económicos movem-se pelo custo e não aceitarão trocar o(s) seu(s) veículo(s) se constituir uma má decisão económica. É ainda sugerida a utilização de incentivos fiscais e não fiscais através de uma série de benefícios que discriminem positivamente a utilização de FCVs como a isenção de IUC, a redução no preço das portagens, etc. Temos, por fim, o investimento em projetos de produção, postos de abastecimento, pesquisa e desenvolvimento, entre outros.

A implantação das medidas sugeridas permitirá a redução ou eliminação das barreiras que tornará o FCV uma opção muito mais atraente. A conjugação da melhoria da competitividade com os benefícios face aos BEVs levará ao crescimento do mercado dos FCVs nos setores mais atrativos: o transporte pesado. Mais concretamente, o transporte rodoviário pesado, o transporte

marítimo, o transporte aéreo e o transporte ferroviário porque são as áreas em que os BEVs não têm capacidade de fornecer uma solução satisfatória e, portanto, serão a porta de entrada para os FCVs.

### 4.3 Síntese de resultados

Existe, em Portugal, um desconhecimento generalizado da tecnologia e das suas especificações que gera muita incerteza.

As motivações à adoção são do foro ambiental, seja por genuína preocupação ambiental ou por interesses económicos, nomeadamente a nível de imagem.

As barreiras à adoção são principalmente o reduzido número de postos de abastecimento, o reduzido número de modelos disponíveis, o elevado preço do hidrogénio verde, o elevado preço dos veículos, a falta de legislação e a existência de tecnologias concorrentes mais atraentes. Destaca-se a relação de "ovo e galinha" entre o número de veículos disponíveis e o número de estações de abastecimento.

Não será expectável que a iniciativa privada alavanque o mercado porque não há incentivos para tal. Assim, será necessário a intervenção das entidades centrais que, pelas motivações de segurança energética e redução das emissões GEE, têm um maior interesse em promover a disseminação dos FCVs.

As principais medidas sugeridas são o enquadramento legal, a taxação de carbono, os subsídios, os incentivos fiscais e não fiscais e o investimento.

Prevê-se que os benefícios dos FCVs face aos BEVs permitam a definição do setor de entrada para as tecnologias FCV: o transporte pesado.

A novidade no estudo consiste na descoberta de preocupações de imagem empresarial ("*license to operate*") como motivação de adoção de FCVs e a falta de legislação como barreira à adoção. A falta de legislação em Portugal pode ser um

dos grandes fatores explicativos do relativo atraso do mercado FCV português.  
Não se garante que estes resultados sejam aplicáveis a outros países.



## 5. Discussão e conclusões

### 5.1 Introdução

A economia do hidrogénio será a grande solução para a descarbonização da economia, incluindo o setor dos transportes (Smitkova et al., 2022). Portugal começa a dar os primeiros passos ao estabelecer metas e implementando várias iniciativas neste sentido (República Portuguesa, 2020).

### 5.2 Discussão

O nível de conhecimento das tecnologias de hidrogénio é fundamental para a adoção pois a aceitação de mercado é necessária à sua implementação (Schulte, 2004). Em Portugal, existe um desconhecimento generalizado da tecnologia que gera muita incerteza. No entanto, não é fator impeditivo da adoção, neste momento, na medida em que a inexistência de condições de mercado impõe uma barreira estrutural que não permitiria a sua adoção. Não vale a pena investir, ainda, em campanhas de aumento do conhecimento.

As principais motivações para a compra são ambientais, tecnológicas ou de performance (Shell & Wuppertal Institut, 2017). As principais motivações à adoção, neste momento, em Portugal, são ambientais - seja por uma genuína preocupação ambiental ou por interesses económicos, nomeadamente a nível de imagem. Esta motivação não foi encontrada na revisão de literatura.

As principais barreiras evidenciadas na literatura têm a ver com questões de limitações técnicas, viabilidade comercial, disponibilidade de mercado, existência de tecnologias alternativas, proveniência do H<sub>2</sub>, impossibilidade de

carregamento em casa e questões de segurança (Hardman et al., 2017) (Bairrão et al., 2023) (Shin et al., 2019) (Browne et al., 2012) (Apostolou & Welcher, 2021) (Iribarren et al., 2016). Em Portugal, as dificuldades encontradas são as mesmas refletindo-se no custo dos veículos e do combustível, na inexistência de estações de abastecimento, na falta de veículos no mercado e na concorrência do elétrico. A proveniência do H2 não foi considerada porque pressupôs-se a utilização de hidrogénio verde. A impossibilidade do carregamento em casa também não surgiu como barreira. As questões de segurança tinham já sido abordadas (Zimmer & Welke, 2012) como sendo preocupações infundamentadas e, de facto, não surgiram como preocupação no atual estudo. Surgiu ainda a falta de legislação em Portugal como barreira à adoção que pode ser um dos grandes fatores explicativos do relativo atraso no desenvolvimento do mercado FCV português. A existência de um problema de "ovo e galinha" relativamente à disponibilidade de veículos e de estações de abastecimento é um problema central (Schwoon, 2006) (Apostolou & Xydis, 2019) e foi destacado também no estudo realizado.

Não será expectável que a iniciativa privada alavanque o mercado porque não existem incentivos. Será necessária a intervenção das entidades públicas que, pelos seus objetivos de segurança energética, redução das emissões GEE e poluição do ar (República Portuguesa, 2020) (FCH & União Europeia, 2019), têm um maior interesse em promover a disseminação dos FCVs.

Existem benefícios de utilização que são a eficiência e economia de combustível, o desempenho, o funcionamento silencioso, a incorporação de tecnologia recente, baixos requisitos de manutenção e a possibilidade de fornecimento de energia remota, operação não poluente e a funcionalidade comparável aos veículos ICE (Hardman et al., 2016) (National Research Council & National Academy of Engineering, 2004) (Shell & Wuppertal Institut, 2017). No entanto, no presente estudo, estes benefícios foram descartados porque não

têm influência na adoção dos FCVs (mas sim na adoção de BEVs por serem mais competitivos).

As principais soluções são o desenvolvimento de políticas de suporte ao mercado que incluem apoios ao investimento em infraestrutura de abastecimento, à expansão das frotas FCV e à aquisição de H2 verde, limitação de carbono, apoio à investigação e inovação e cooperação internacional e entre setores (KELES et al., 2008) (M. Melaina, 2003) (Hardman et al., 2017) (Shell & Wuppertal Institut, 2017) (Hardman et al., 2016) (Nunes et al., 2019) (Browne et al., 2012) (APQuímica, 2020) (Scipioni et al., 2017) (Crabtree et al., 2004). De acordo com a mesma linha de pensamento, as principais medidas apuradas no estudo estão relacionadas com a atuação pública e são o enquadramento legal, a taxação de carbono, os subsídios, os incentivos fiscais e não fiscais e o investimento.

Os FCVs têm benefícios relativamente aos BEVs como a maior autonomia e os rápidos reabastecimentos (Shell & Wuppertal Institut, 2017). Para além dos benefícios referidos, que também surgiram no estudo, apurou-se ainda a maior eficiência no transporte pesado e menor peso. O alívio das barreiras que possa resultar das medidas sugeridas, a par das motivações privadas e, ainda, dos benefícios dos FCVs face aos BEVs enunciados devem levar ao crescimento do mercado dos FCVs, principalmente no setor do transporte comercial e pesado (FCH & União Europeia, 2019) (DGEG & República Portuguesa, 2019). Não se garante que estes resultados sejam aplicáveis a outros países.

## 5.3 Conclusões

O crescimento do mercado FCV em Portugal é influenciado por vários fatores e o seu entendimento é necessário para que seja possível a sua alavancagem. As motivações gerais para a adoção dos FCVs são as preocupações ambientais ou de segurança energética. As principais barreiras são a falta de legislação, a concorrência do elétrico, o elevado preço dos veículos, o elevado preço do hidrogénio verde, o reduzido número de modelos disponíveis e o reduzido número de postos de abastecimento. Todos estes entraves podem ser amenizados ou resolvidos com a intervenção pública através do estabelecimento de um enquadramento legal, taxaço de carbono, subsídios, incentivos fiscais e não fiscais e investimento. A aplicação destas medidas resulta numa tecnologia mais competitiva que, associada aos benefícios que possui face ao veículo elétrico (maior eficiência no transporte pesado, maior autonomia, menor peso e menor tempo de abastecimento), constitui uma solução especialmente apelativa para a descarbonização dos transportes pesados como o transporte rodoviário pesado, marítimo, aéreo e ferroviário. Conclui-se, assim, que será a porta de entrada para a tecnologia FCV, dada a incapacidade da tecnologia elétrica em assegurar a descarbonização deste tipo de transportes, até se desenvolver o suficiente para competir diretamente no mercado da mobilidade urbana ligeira.

## 5.4 Limitações da investigação

A pesquisa efetuada contém algumas limitações como a baixa representatividade de empresas de utilização do hidrogénio uma vez que são ainda pouco numerosas em Portugal. Pela mesma razão não foram realizadas entrevistas com profissionais da área da marinha nem da aviação. Por outro lado,

não foram consideradas as opiniões de indivíduos que não trabalhem no contexto do hidrogénio uma vez que se considera que não teriam uma opinião bem fundamentada sobre o assunto. Assinala-se ainda limitações técnicas no uso do hidrogénio que não foram abordadas.

## 5.5 Recomendações para pesquisa futura

Pesquisas futuras podem e devem abranger diferentes focos dentro da mesma área em estudo. Seria de extrema importância desenvolver um estudo em que seja permitido que os indivíduos experimentem um veículo FCV e comparar as perceções antes e após a experiência para se poder retirar conclusões acerca do impacto da experiência na opinião e posicionamento em relação ao hidrogénio em Portugal. Um outro estudo interessante seria a avaliação do conhecimento da população em geral sobre esta temática, apresentando um inquérito antes e depois da apresentação de informações sobre a tecnologia, avaliando também como é que a aceitação dos FCVs evolui conforme o conhecimento aumenta. Seria ainda relevante efetuar um estudo sobre os custos de exploração dos FCVs na medida em que há uma opinião quase generalizada de que é mais cara a operação de um FCV do que um veículo convencional. No entanto, há já alguns estudos (Shell & Wuppertal Institut, 2017) e indivíduos (conforme revelado nas entrevistas) que mostram uma opinião contrária: embora o preço do hidrogénio seja elevado, dada a eficiência superior do motor, os custos por km percorrido são inferiores comparativamente com os veículos ICE. Assim, seria de extrema relevância efetuar um estudo comparativo sobre os consumos reais das várias tecnologias da mobilidade.

## 6. Referências bibliográficas

- Ala, G., Colak, I., Di Filippo, G., Miceli, R., Romano, P., Schettino, G., Silva, C., Valtchev, S., & Viola, F. (2021). Forecasts on the development of Hydrogen Refuelling Infrastructures in Portugal. *2021 9th International Conference on Smart Grid (IcSmartGrid)*, 112–117. <https://doi.org/10.1109/icSmartGrid52357.2021.9551212>
- APA. (2022). *Inventário Nacional de Emissões 2022*.
- Apostolou, D., & Welcher, S. N. (2021). Prospects of the hydrogen-based mobility in the private vehicle market. A social perspective in Denmark. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(9), 6885–6900. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.11.167>
- Apostolou, D., & Xydis, G. (2019). A literature review on hydrogen refuelling stations and infrastructure. Current status and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113, 109292. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109292>
- APQuímica. (2020). *Consulta Pública - Estratégia Nacional para o Hidrogénio (EN-H2)*.
- Bairrão, D., Soares, J., Almeida, J., Franco, J. F., & Vale, Z. (2023). Green Hydrogen and Energy Transition: Current State and Prospects in Portugal. *Energies*, 16(1), 551. <https://doi.org/10.3390/en16010551>
- Ball, M., & Wietschel, M. (2009). *The Hydrogen Economy: Opportunities and Challenges*.
- Bögel, P., Oltra, C., Sala, R., Lores, M., Upham, P., Dütschke, E., Schneider, U., & Wiemann, P. (2018). The role of attitudes in technology acceptance

- management: Reflections on the case of hydrogen fuel cells in Europe. *Journal of Cleaner Production*, 188, 125–135. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.266>
- Browne, D., O'Mahony, M., & Caulfield, B. (2012). How should barriers to alternative fuels and vehicles be classified and potential policies to promote innovative technologies be evaluated? *Journal of Cleaner Production*, 35, 140–151. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.019>
- Cernat, A., Pana, C., Negurescu, N., Lazaroiu, G., Nutu, C., & Fuiiorescu, D. (2020). Hydrogen—An Alternative Fuel for Automotive Diesel Engines Used in Transportation. *Sustainability*, 12(22), 9321. <https://doi.org/10.3390/su12229321>
- Crabtree, G. W., Dresselhaus, M. S., & Buchanan, M. V. (2004). The Hydrogen Economy. *Physics Today*, 57(12), 39–44. <https://doi.org/10.1063/1.1878333>
- DGEG, & República Portuguesa. (2019). *ROTEIRO E PLANO DE AÇÃO PARA O HIDROGÉNIO EM PORTUGAL*.
- Edwards, P. P., Kuznetsov, V. L., David, W. I. F., & Brandon, N. P. (2008). Hydrogen and fuel cells: Towards a sustainable energy future. *Energy Policy*, 36(12), 4356–4362. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.09.036>
- FCH, & União Europeia. (2019). *Hydrogen Roadmap Europe*. <https://doi.org/10.2843/249013>
- Giers, M. (2022). Hydrogen and Its Role in Post-Pandemic Recovery. Case Study of Portugal. *Polish Political Science Yearbook*, 51, 1–8. <https://doi.org/10.15804/ppsy202219>
- Gray, D. E. (2017). *Doing Research in the Business World*.

- Hardman, S., Chandan, A., Shiu, E., & Steinberger-Wilckens, R. (2016). Consumer attitudes to fuel cell vehicles post trial in the United Kingdom. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(15), 6171–6179. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.02.067>
- Hardman, S., Shiu, E., Steinberger-Wilckens, R., & Turrentine, T. (2017). Barriers to the adoption of fuel cell vehicles: A qualitative investigation into early adopters attitudes. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 95, 166–182. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.11.012>
- Hienuki, S., Hirayama, Y., Shibutani, T., Sakamoto, J., Nakayama, J., & Miyake, A. (2019). How Knowledge about or Experience with Hydrogen Fueling Stations Improves Their Public Acceptance. *Sustainability*, 11(22), 6339. <https://doi.org/10.3390/su11226339>
- Iribarren, D., Martín-Gamboa, M., Manzano, J., & Dufour, J. (2016). Assessing the social acceptance of hydrogen for transportation in Spain: An unintentional focus on target population for a potential hydrogen economy. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(10), 5203–5208. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.01.139>
- KELES, D., WIETSCHEL, M., MOST, D., & RENTZ, O. (2008). Market penetration of fuel cell vehicles – Analysis based on agent behaviour. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33(16), 4444–4455. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.04.061>
- Lipman, T. E., Elke, M., & Lidicker, J. (2018). Hydrogen fuel cell electric vehicle performance and user-response assessment: Results of an extended driver study. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(27), 12442–12454. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.04.172>
- Melaina, M. (2003). Initiating hydrogen infrastructures: preliminary analysis of a sufficient number of initial hydrogen stations in the US. *International*

- Journal of Hydrogen Energy*, 28(7), 743–755. [https://doi.org/10.1016/S0360-3199\(02\)00240-9](https://doi.org/10.1016/S0360-3199(02)00240-9)
- Melaina, M. W., Steward, D., Penev, M., McQueen, S., Jaffe, E. S., & Talon, C. (2015). *Hydrogen Infrastructure Market Readiness: Opportunities and Potential for Near-term Cost Reductions. Proceedings of the Hydrogen Infrastructure Market Readiness Workshop and Summary of Feedback Provided through the Hydrogen Station Cost Calculator*. <http://www.osti.gov/bridge>
- Mourato, S., Saynor, B., & Hart, D. (2004). Greening London's black cabs: A study of driver's preferences for fuel cell taxis. *Energy Policy*, 32(5), 685–695. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(02\)00335-X](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(02)00335-X)
- National Research Council, & National Academy of Engineering. (2004). *The hydrogen economy: opportunities, costs, barriers, and R&D needs*. National Academies Press.
- Nunes, P., Pinheiro, F., & Brito, M. C. (2019). The effects of environmental transport policies on the environment, economy and employment in Portugal. *Journal of Cleaner Production*, 213, 428–439. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.166>
- República Portuguesa. (2020). *EN-H2 - Estratégia Nacional Para o Hidrogénio*.
- Salkind, N. J. (2018). *Exploring research*.
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2016). *Research Methods for Business Students* (Seventh edition). Pearson. [www.pearson.com/uk](http://www.pearson.com/uk).
- Schulte, I. (2004). Issues affecting the acceptance of hydrogen fuel. *International Journal of Hydrogen Energy*, 29(7), 677–685. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2003.09.006>

- Schwoon, M. (2006). Simulating the adoption of fuel cell vehicles. *Journal of Evolutionary Economics*, 16(4), 435–472. <https://doi.org/10.1007/s00191-006-0026-4>
- Scipioni, A., Manzardo, A., & Ren, J. (2017). *Hydrogen economy: supply chain, life cycle analysis and energy transition for sustainability*.
- Scovell, M. D. (2022). Explaining hydrogen energy technology acceptance: A critical review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(19), 10441–10459. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.01.099>
- Seddon, D. (2022). *The Hydrogen Economy - Fundamentals, Technology, Economics*.
- Shell, & Wuppertal Institut. (2017). *ENERGY OF THE FUTURE? Sustainable Mobility through Fuel Cells and H<sub>2</sub>*. [www.shell.de](http://www.shell.de)
- Shin, J., Hwang, W.-S., & Choi, H. (2019). Can hydrogen fuel vehicles be a sustainable alternative on vehicle market?: Comparison of electric and hydrogen fuel cell vehicles. *Technological Forecasting and Social Change*, 143, 239–248. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.02.001>
- Silva, C. M., Ferreira, A. F., & Bento, J. P. C. (2014). Impact of Hydrogen in the Road Transport Sector for Portugal 2010-2050. *Energy Procedia*, 58, 207–214. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.430>
- Smitkova, M. F., Janicek, F., & Martins, F. (2022). Hydrogen Economy : Brief Sumarization of Hydrogen Economy. *2022 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICECET55527.2022.9872907>
- Tarigan, A. K. M., Bayer, S. B., Langhelle, O., & Thesen, G. (2012). Estimating determinants of public acceptance of hydrogen vehicles and refuelling

- stations in greater Stavanger. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(7), 6063–6073. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.12.138>
- Trattner, A., Klell, M., & Radner, F. (2022). Sustainable hydrogen society – Vision, findings and development of a hydrogen economy using the example of Austria. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(4), 2059–2079. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.10.166>
- Zimmer, R., & Welke, J. (2012). Let's go green with hydrogen! The general public's perspective. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(22), 17502–17508. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.02.126>

## 7. Anexos

### 7.1 Guião das entrevistas

O guião das entrevistas, com o objetivo de dar resposta às questões estabelecidas, estruturou-se da seguinte forma:

- Apresentação e contextualização sobre o trabalho a ser desenvolvido, o âmbito da tese, entre outras considerações;
- Pedido ao participante para que seja feito um enquadramento geral sobre os projetos da sua empresa relacionados com o hidrogénio;
- Apresentação da framework construída;
- Questão: “Quais são as principais barreiras que acredita que, neste momento, estão a dificultar o uso generalizado de veículo a hidrogénio, em Portugal?”;
- Questão: “Quais são as vantagens que acredita estarem associadas ao uso do hidrogénio na mobilidade?”;
- Questão: “Que medidas é que considera serem necessárias para fomentar o crescimento deste mercado?”.