



UNIVERSIDADE
LUSÓFONA

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE LISBOA
FACULDADE DE ENGENHARIA
ENGENHARIA DO AMBIENTE

MOBILIDADE SUSTENTÁVEL: A CONTRIBUIÇÃO DA FERROVIA PARA A DESCARBONIZAÇÃO

Dissertação para apresentação a provas públicas para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, orientada por Professora Doutora Carina Da Conceição Mendes De Almeida e Professor Doutor Vítor Filipe Silva Antunes

Pedro Miguel da Silva Gaspar, nº 22100876

2023

www.lusofona.pt



UNIVERSIDADE
LUSÓFONA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE LISBOA
FACULDADE DE ENGENHARIA
ENGENHARIA DO AMBIENTE

MOBILIDADE SUSTENTÁVEL: A CONTRIBUIÇÃO DA FERROVIA PARA A DESCARBONIZAÇÃO

VERSÃO FINAL

Dissertação defendida em provas públicas na Universidade Lusófona, Centro Universitário de Lisboa no dia 26/04/2024, perante o júri, nomeado pelo Despacho de Nomeação n.º: 658/2024, de 30 de janeiro de 2024, com a seguinte composição:

Presidente: Prof. Doutora Cândida Leonor Pindo Rocha
Vogais: Prof. Doutor Manuel Guilherme Caras Altas Duarte Pinheiro (Arguente)
Orientador: Prof. Doutora Carina da Conceição Mendes de Almeida

Este trabalho também foi orientado por Prof. Doutor Vítor Filipe Silva Antunes

Pedro Miguel da Silva Gaspar, n.º 22100876

2023

*Leave this world a little better
than you found it.*

Robert Baden-Powell

Agradecimentos

Este trabalho reflete um percurso académico pautado por inúmeros desafios, conquistas e perseverança. Um trabalho de fim de curso, como esta dissertação, é o culminar de um percurso individual, no qual não podia deixar de realçar o inestimável contributo de várias pessoas que, de alguma forma, participaram na sua realização. Também é vosso.

À minha orientadora, a Prof^ª. Dr^ª. Carina Almeida, pelas habituais palavras de incentivo, pelo apoio desde cedo na escolha do tema do trabalho e orientação na direcção a seguir. Por toda a constante atenção e disponibilidade, que me ajudaram a ultrapassar diversas dificuldades. Mas, sobretudo, pelo tempo que me dedicou.

Ao Prof. Dr. Vítor Antunes, pelo tempo dispendido nas revisões, inúmeros conselhos e pelos notórios conhecimentos nos campos dos transportes e da mobilidade. Pela motivação, encorajando-me a avançar com o tema escolhido e por, ao longo do percurso, me ter auxiliado a traçar um rumo.

Aos meus pais, pelo suporte constante ao longo da minha vida. Por me tornarem quem sou e me ajudarem a crescer sem que nada me faltasse. Sem o seu contributo não teria conseguido alcançar este patamar na minha vida pessoal e académica.

À minha companheira, Patrícia, por estares sempre ao meu lado. Pela tua paciência, por ouvires as minhas frustrações e pelos planos adiados. Por consentires abdicar de vários momentos em função da concretização deste estudo. Pelos teus conselhos e constantes incentivos, quando tudo parecia tão difícil e distante.

A todos os meus familiares, amigos, professores e colegas, que contribuíram para este meu percurso ou simplesmente tenham demonstrado curiosidade pelo meu trabalho, transmitindo palavras de incentivo importantes e encorajando-me a seguir em frente.

A todos vós, o meu profundo agradecimento.

Resumo

O setor dos transportes desempenha um papel fundamental para o desenvolvimento socioeconómico dos países, permitindo o transporte de pessoas e mercadorias. Atualmente, este setor enfrenta inúmeros desafios na medida em que é um dos maiores emissores de gases com efeito de estufa. A implementação de novas políticas para contrariar estas emissões pode enfrentar alguns desafios sociais, considerando a necessidade de repensar hábitos e mentalidades. Num contexto de transição climática, será o setor capaz de assegurar que as necessidades de mobilidade de pessoas e bens em viagens transfronteiriças em Portugal e Espanha continuam a ser satisfeitas? O futuro da ferrovia em Portugal, enquanto parte da rede europeia, será determinada pelos investimentos projetados para as próximas décadas, nomeadamente no sentido de reduzir os tempos de viagem e aumentar as ligações, evitando a perda de mobilidade e de competitividade face a outros meios de deslocação. Este estudo avalia a viabilidade do comboio de alta velocidade como principal meio de transporte para viagens de média distância, analisando as pontes aéreas e ferroviárias à escala ibérica. O balanço das emissões demonstram que o comboio elétrico é consideravelmente menos poluente que o avião, embora o comboio a diesel emita duas vezes mais do que o comboio elétrico. Os resultados dos inquéritos comprovam que os principais critérios de escolha de um modo de transporte são o tempo de viagem e o preço do bilhete. O comboio revela-se mais vantajoso que o avião para viagens curtas, sendo que, à medida que a distância aumenta, o comboio torna-se menos vantajoso que o avião. Em conclusão, o comboio de alta velocidade é uma alternativa ao avião se o tempo viagem e o custo forem inferiores ou idênticos, embora as ligações analisadas revelem a inexistência de uma ferrovia de alta velocidade em Portugal e uma fraca conexão da rede o resto da Europa.

Palavras-chave: Transporte ferroviário de alta-velocidade; Transporte aéreo; Península Ibérica; Ação Climática; Estratégias de Mobilidade.

Abstract

The transport sector plays a key role in the socio-economic development of countries, allowing the transport of people and goods. Currently, this sector faces numerous challenges as one of the largest emitters of greenhouse gases. Implementing new policies to reverse these emissions may face some social challenges, considering the need to rethink habits and mentalities. In a context of climate transition, will the sector be able to ensure that the mobility needs of people and goods on cross-border journeys in Portugal and Spain continue to be met? The future of the railroads in Portugal, as part of the European network, will be determined by the investments planned for the coming decades, especially in terms of reducing travel times and increasing connections, avoiding a loss of mobility and competitiveness against other means of travel. This study analyzes the viability of high-speed rail as the main mode of transport for medium-distance journeys, comparing air and rail bridges on an Iberian scale. The emissions balance demonstrates that the electric train is considerably less polluting than the airplane, but the diesel train generates twice as many emissions as the electric train. The survey findings show that the main criteria for choosing a mode of transport are travel time and the cost of the ticket. The train proves to be more advantageous than the plane for short journeys, but as the distance increases, the train becomes less advantageous than the plane. In conclusion, the high-speed rail is as an alternative to air travel if the travel time and costs are lower or identical, although the connections analyzed show that there is currently no high-speed rail in Portugal and that the network is poorly connected to the rest of Europe.

Keywords: High-speed rail; Air passenger transport; Iberian Peninsula; Climate action; Mobility strategies.

Abreviaturas, siglas e símbolos

AEA: Agência Europeia do Ambiente

AV: Alta velocidade

AVF: Alta velocidade ferroviária

CELE: Comércio Europeu de Licenças de Emissão

CO₂: Dióxido de Carbono

COP 21: 21^a Conferência das Partes sobre as Alterações Climáticas

COVNM: Compostos Orgânico Voláteis Não Metânicos

CP: Comboios de Portugal, EPE

EEA: European Environment Agency

GEE: Gases de Efeito de Estufa

IEA: International Environment Agency

IPCC: Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas

MtCO_{2e}: Milhões de toneladas de CO₂ equivalente

Mtep: Milhões de toneladas equivalente de petróleo

NDC: Nationally Determined Contributions

PIB: Produto Interno Bruto

RNC2050: Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050

SAF: Sustainable Aviation Fuel

UNFCCC: United Nations Framework Convencion on Climate Change

Índice Geral

1. CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento do estudo.....	1
1.2. Objetivos.....	3
1.3. Organização da dissertação.....	4
2. CAPÍTULO II: ENQUADRAMENTO TEÓRICO.....	7
2.1. Ação Climática e descarbonização no setor dos transportes.....	7
2.1.1. Introdução.....	7
2.1.2. Importância do setor dos transportes para o desenvolvimento das sociedades.....	11
2.1.3. Contribuição do setor dos transportes para o desenvolvimento das sociedades.....	13
2.1.4. Medidas de mitigação de emissões de GEE.....	17
2.1.5. Mobilidade sustentável.....	19
2.1.6. Desafios do setor dos transportes para responder às alterações climáticas.....	22
2.2. Transporte de longa distância continental.....	25
2.3.1. Enquadramento do transporte aéreo.....	25
2.3.2. Enquadramento do transporte ferroviário.....	27
2.3.3. Análise comparativa entre o modo ferroviário e aéreo.....	30
2.3.4. Resiliência dos transportes ferroviário e aéreo.....	33
2.3.5. Desenvolvimento do transporte ferroviário de alta velocidade na Europa.....	37
2.3.6. Ferrovia na Península Ibérica.....	39
3. CAPÍTULO III: METODOLOGIA DO ESTUDO.....	45
3.1. Contabilização das emissões de Dióxido de carbono.....	45
3.2. Processo de recolha de dados.....	47
4. CAPÍTULO IV: ANÁLISE DE VIABILIDADE DO TRANSPORTE FERROVIÁRIO PARA AS LIGAÇÕES IBÉRICAS.....	49
4.1. Caracterização dos casos de estudo.....	49
4.2. Contabilização das emissões.....	52

4.3.	Viabilidade económica.....	55
4.4.	Perceção da população à mudança de paradigma.....	60
4.5.	Discussão de resultados	71
5.	CAPÍTULO V: CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
5.1.	Principais conclusões	75
5.2.	Trabalhos futuros	79

Índice de Quadros

Quadro 2.1. Balanço do consumo final de energia do setor dos transportes (%). Dados: Pordata.....	23
Quadro 2.2. Extensão, em km, das redes ferroviárias nacionais e percentagem eletrificada (2019). Fonte: Adaptado de AMT, 2021.....	28
Quadro 2.3. Combustíveis alternativos: emissões do poço-à-roda por quilowatt-hora. Fonte: adaptado de Lawrence & Bullock, 2022.....	33
Quadro 2.4. Extensão da rede ferroviária eletrificada em Espanha. Dados: UIC.....	40
Quadro 2.5. Extensão da rede ferroviária eletrificada em Portugal. Dados: Pordata....	42
Quadro 4.1. Caracterização das principais ligações ibéricas consideradas neste estudo.	51
Quadro 4.2. Contabilização das emissões de CO ₂ dos modos de transporte para os percursos em estudo.	53
Quadro 4.3. Custos típicos de construção para novas linhas de alta velocidade de 500 km, em euros. Dados: Rus e Nash em ITF, 2014.....	56
Quadro 4.4. Identificação do investimentos necessários e tempos de viagem futuros nos percursos analisados.....	57
Quadro 4.5. Tempos de viagem estimados no percurso Lisboa-Porto. Dados: Portugal.gov, 2022.....	58
Quadro 4.6. Desafios associados à implementação da AVF nos casos de estudo.	73
Quadro 4.7. Benefícios associados à implementação da AVF nos casos de estudo.	74

Índice de Figuras

Figura 2.1. Consumo de energia por setor na União Europeia (UE-27) em 2021, em percentagem. (%). Dados: Pordata.	9
Figura 2.2. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável aplicáveis à mobilidade e transportes. Fonte: Adaptado de Nações Unidas, 2023.	9
Figura 2.3. Passageiros transportados por modo de transporte entre 2018 e 2021 em Portugal. Dados: (Instituto Nacional de Estatística, 2022).....	12
Figura 2.4. Etapas do ciclo energético para combustível e eletricidade. Fonte: Adaptado de Knörr & Hüttermann, 2016.....	14
Figura 2.5. Partilha, por modo de transporte, do total de emissões de GEE dos transportes na eu-27 em 2018. Fonte: Adaptado de Comissão Europeia, 2020.....	15
Figura 2.6. Contabilização das emissões por ocupação média nos vários modos de transporte. Fonte: adaptado de Agência Europeia do Ambiente, 2016.	16
Figura 2.7. Esquema de correspondência entre os modos de transporte e os combustíveis que poderão utilizar para atingir a transição energética. Fonte: adaptado de Ram et al., 2018.	24
Figura 2.8. Percentagem entre viagens nacionais e internacionais nos principais aeroportos europeus com maior número de passageiros recebidos em 2022. Dados: Eurostat, 2023.....	26
Figura 2.9. Contabilização dos principais poluentes atmosféricos – monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis não metânicos (COVNM), óxidos de azoto (NO _x), partículas com diâmetro inferior a 2,5 micrómetros (PM _{2.5}) e 10 micrómetros (PM ₁₀) e óxidos de enxofre – provocados pela aviação doméstica e internacional e pelos comboios a diesel. Fonte: adaptado de Agência Europeia do Ambiente, 2021.	31
Figura 2.10. Comparação das emissões dos principais poluentes para o avião e o comboio, no percurso Londres-Paris. Dados: EcoPassenger, 2023.	32

Figura 2.11. Percentagem mínima necessária de combustíveis sustentáveis para a aviação até 2050, de acordo com o Regulamento ReFuelEU Aviação. Dados: Comissão Europeia, 2023.	34
Figura 2.12. Representação da rede ferroviária de alta velocidade, atual e futura, e correspondência com os aeroportos existentes na Península Ibérica. Fonte: Maps of the Comprehensive and the Core Network, 2017.	35
Figura 2.13. Rede Transeuropeia de Transportes. Fonte: Comissão Europeia.	38
Figura 2.14. Mapa das Linhas de AVE e Longa Distância em Espanha. Fonte: RENFE.	41
Figura 2.15. Estado atual da rede de Alta Velocidade (à esquerda) vs cenário futuro. Fonte: Adaptado de IP, 2022.	43
Figura 4.1. Meios de Transporte utilizados para as deslocações diárias.	61
Figura 4.2. Preferência do meio de transporte para as deslocações longas.	61
Figura 4.3. Análise comparativa entre o avião e o comboio, tendo em conta vários parâmetros.	63
Figura 4.4. Análise de concordância referente às preocupações ambientais e motivações inerentes à escolha do transporte.	64
Figura 4.5. Peso dos impactes ambientais na escolha do meio de deslocação.	65
Figura 4.6. Avaliação dos critérios prioritários para uma viagem de avião e de comboio, entre Lisboa e Porto.	66
Figura 4.7. Avaliação dos critérios prioritários para uma viagem de avião e de comboio, entre Lisboa e Madrid.	67
Figura 4.8. Avaliação dos critérios prioritários para uma viagem de avião e de comboio, entre Lisboa e Barcelona.	67
Figura 4.9. Avaliação dos critérios prioritários para uma viagem de avião e de comboio, entre Lisboa e Faro.	68

Figura 4.10. Avaliação dos critérios prioritários para uma viagem de avião e de comboio, entre Porto e Vigo.....	69
Figura 4.11. Análise de concordância relativamente às condições atuais da ferrovia. .	69
Figura 4.12. Análise de concordância relativamente à futura linha de alta velocidade ferroviária.	70

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento do estudo

O setor dos transportes representa um importante contributo para a sociedade, através do transporte de passageiros, em termos de desenvolvimento económico, social e territorial, assim como de mercadorias, através do transporte de bens e alimentos. A redução das emissões associada aos gases com efeito de estufa (GEE) é uma prioridade no campo do combate às alterações climáticas, em particular na Europa e, conseqüentemente, em Portugal. Este setor representava em 2019, relativamente a 1990, um crescimento de 33,5% das emissões de GEE dos transportes totais de GEE dos 27 Estados-Membros da União Europeia, representando uma tendência crescente (Agência Europeia do Ambiente, 2022b).

A União Europeia encontra-se a encetar esforços para reduzir categoricamente as emissões de GEE no espaço europeu, apostando em estratégias, investimentos e apoios para que todos os Estados-Membros possam atingir os compromissos a que se propuseram. Estas políticas surgem alinhadas com os 17 Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela Organização das Nações Unidas para 2030. Sendo o setor dos transportes, um dos setores mais intensivos no consumo em energia, particularmente na produzida através dos combustíveis fósseis, sendo este um dos que mais reflete a influência humana no ambiente. A ação climática emergente implica medidas por parte das organizações governamentais para limitar as emissões de todos os setores, incluindo os transportes. Estas medidas deverão ser determinantes para contribuir para a implementação eficaz de soluções que promovam a adaptação e a mitigação para limitar o impacto das alterações climáticas, nomeadamente através da descarbonização de todos os modos de transporte.

Considerando as metas ambiciosas relativamente à redução de emissões, torna-se relevante explorar novas estratégias, sem restringir a mobilidade contemporânea, e se possível melhorando-a, mas procurando soluções para reduzir o impacto que este setor tem tido no meio ambiente e a sua contribuição para as alterações climáticas. O Acordo de Paris, de 2015, ou o Pacto Ecológico Europeu, de 2019, estão entre os principais planos de ação conjuntos. Em Portugal, destaca-se o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050) ou o Programa de Ação para a Adaptação às Alterações Climáticas (P-3AC), com linhas de ação concretas de

intervenção direta no território, ou o Plano de Recuperação e Resiliência das Infraestruturas às Alterações Climáticas, que pretende conferir maior resiliência às infraestruturas, identificando risco e avaliação dos respetivos impactes nas infraestruturas. Relativamente à literatura existente sobre o tema, o *Transport and environment report 2020: Train or plane?* da Agência Europeia do Ambiente (2021) oferece uma análise comparativa detalhada relativamente aos transportes ferroviário e aéreo, destacando-se ao nível dos custos ambientais associados a ambos os modos de transporte.

A opção por novos paradigmas associados aos conceitos de mobilidade e sustentabilidade, combinados para a tornar a mobilidade mais ecológica e acessível, exige uma adaptação do setor dos transportes. Em comparação com outros modos de transporte, o modo ferroviário destaca-se pelo transporte de massas e pelas baixas emissões por passageiro. A evolução do transporte ferroviário permitir-lhe-á desempenhar um papel competitivo ao nível da atratividade do transporte de passageiros e de mercadorias, em particular com a aposta no desenvolvimento de ligações continentais ao restante espaço europeu e com a criação de ligações intermodais.

O presente estudo visa, na sua extensão, acrescentar informação relevante em falta na literatura existente, especialmente incidindo sobre as ligações aéreas e ferroviárias existentes nos principais eixos entre Portugal e Espanha. Como tal, o foco incide sobre a possibilidade de substituir as pontes aéreas existentes entre os dois países e dentro do próprio país, pelo transporte ferroviário de alta velocidade nos principais corredores Ibéricos (p.e. Lisboa-Madrid-Barcelona ou Lisboa-Porto-Vigo). Para o efeito, considerou-se a possível evolução da procura associada ao impacte ambiental dos modos de transporte em estudo, contabilizando o peso das emissões nos percursos definidos, de forma a concluir quais os percursos em que será viável a substituição do avião pelo comboio. A perceção da população sobre os impactes ambientais associados às suas deslocações e a viabilidade da mudança para o comboio de alta velocidade foram consideradas, assim como a evolução e o investimento necessário na infraestrutura ferroviária para reduzir os tempos de viagem e custos associados às deslocações. A perceção da população, assim como a sua sensibilidade sobre os impactes das suas decisões para as emissões de GEE, foi realizada através de análise estatística sobre inquéritos realizados à população, sendo aferida a possibilidade de obtenção de dados enviesados.

1.2. Objetivos

A presente dissertação foi elaborada com o objetivo de aferir a possibilidade de o transporte ferroviário ganhar protagonismo dentro do setor dos transportes, posicionando-se como uma alternativa clara à aviação para viagens de carácter nacional e transfronteiriço, nomeadamente a nível ibérico. Desta forma, pretende-se responder à questão: de que forma poderá o setor dos transportes, sendo dos setores que mais contribui para o total de emissões de GEE, continuar a corresponder às necessidades de mobilidade, garantindo o nível e qualidade de serviço, de pessoas e bens dentro do espaço europeu e ao mesmo tempo reduzir as emissões associadas?

Considerou-se a área geográfica da Península Ibérica, onde se analisa a viabilidade de alteração das principais pontes aéreas para a Alta Velocidade Ferroviária. Assim, para este estudo, pretende-se verificar se poderá a ferrovia de Alta Velocidade, na sua qualidade de meio de transporte com elevada capacidade, ter uma contribuição importante ao nível dos objetivos ambiciosos de redução de emissões de GEE. Para o problema identificado definiram-se as seguintes hipóteses, que se pretendem comprovar:

- Verificar a viabilidade de posicionar a ferrovia, a curto ou médio prazo, como o principal meio de transporte para deslocações nacionais ou transfronteiriças, tendo em conta a atual infraestrutura e material circulante e o plano nacional de investimento para a ferrovia com a construção dos corredores de alta velocidade;
- Posicionar a ferrovia como principal solução de mobilidade sustentável em alternativa ao transporte aéreo, rumo à descarbonização do setor dos transportes;
- Averiguar a recetividade dos passageiros em escolher o transporte para se deslocar, tendo em conta fatores ambientais em detrimento de outros fatores como económicos, consumo de tempo, ou transtorno na viagem.

Para responder a estas questões, reuniu-se a principal literatura para uma visão global dos principais estudos publicados, as medidas adotadas, e previstas, pelos órgãos europeus relativamente ao setor dos transportes e da mobilidade, debruçando especialmente sobre a contribuição ao nível das emissões de GEE, que poderão ser responsáveis por consequências ambientais e para a saúde humana.

1.3. Organização da dissertação

Com o intuito de analisar a importância do setor dos transportes na sociedade, a sua relevância em contexto de transição climática e os desafios que o setor enfrenta, procedeu-se ao levantamento e revisão da literatura, onde se introduziu conceitos relevantes para o tema.

O Capítulo 2 aborda a ação climática específica para o setor dos transportes e o contexto atual dos transportes aéreo e ferroviário. Na revisão da literatura abordaram-se temas como a importância do setor dos transportes para o desenvolvimento das sociedades modernas, o seu impacto nas emissões de gases com efeito de estufa e a forma como contribui para os cenários relativos às alterações climáticas. A introdução do conceito de mobilidade sustentável no âmbito dos transportes permitiu perceber que respostas podem ser dadas em termos de mobilidade e transportes, bem como o papel que o transporte coletivo e a mobilidade verde terão na mobilidade do futuro. São, igualmente, contempladas as medidas implementadas e os desafios que o setor poderá enfrentar na União Europeia para mitigação das emissões de GEE no combate às alterações climáticas. Numa segunda fase, o avião e o comboio foram contextualizados no contexto europeu para determinar a sua relevância, procurando identificar o mais adequado para deslocações de longa distância a nível continental e avaliar a respetiva resiliência. Por último, analisou-se estado atual da ferrovia na Península Ibérica e o desenvolvimento da AVF (Alta Velocidade Ferroviária) a nível europeu.

A metodologia do estudo é apresentada em capítulo próprio (capítulo 3), onde se evidenciam os processos e métodos por associados à contabilização das emissões de CO₂ e o processo de recolha de dados face à perceção da população. Os resultados obtidos são apresentados no capítulo 4, referente ao caso de estudo. No sentido de explorar a possibilidade de o transporte ferroviário ser alternativa ao transporte aéreo, nas principais ligações portuguesas e transfronteiriças, foram identificados os percursos mais importantes onde se concentra a maior parte do tráfego entre os dois países. Para cada origem-destino, procurou-se identificar o modo de transporte que mais contribui para as emissões produzidas, bem como os investimentos necessários e as vantagens associadas à construção de uma Linha de Alta Velocidade (LAV). Foi avaliada a receptividade da população em geral a adotar a alta velocidade ferroviária para a realização das suas viagens de curta e média distância, em alternativa ao avião, e quais os principais critérios na escolha do meio de transporte.

As considerações finais serão enumeradas no último capítulo – capítulo 5 – onde são apresentadas as principais conclusões do estudo, nas quais se procurou confirmar se os objetivos propostos foram atingidos, bem como a apresentação de proposta de trabalhos futuros.

CAPÍTULO II: ENQUADRAMENTO TEÓRICO

2.1. Ação Climática e descarbonização no setor dos transportes

2.1.1. Introdução

As recentes alterações no clima vêm alertar para a necessidade de mudança no campo da mobilidade. Uma das principais conclusões do Grupo de Trabalho II para o Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), *Impacts, Adaptation and Vulnerability*, é ser extremamente provável que a causa do aquecimento observado nas últimas décadas seja de origem humana, concluindo que “as perdas e danos generalizados nos sistemas humanos e naturais são provocados por alterações climáticas induzidas pelo ser humano”, contribuindo para aumentar a frequência, intensidade e/ou duração dos fenómenos meteorológicos extremos (IPCC, 2022).

O termo sustentabilidade tem diversas interpretações na literatura, porém, a sua definição converge frequentemente para a degradação do ambiente, causada pela pressão humana através exploração incessante de recursos – pressões sobre o solo, água, florestas e outros recursos naturais – para ganho económico. O conceito de Desenvolvimento Sustentável implica limites (Nações Unidas, 1987), sendo que se baseia na satisfação das necessidades do presente, sem comprometer que as gerações futuras possam satisfazer as suas próprias necessidades (Binder, 2013, citado em (Ludin et al., 2021).

A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, adotada em 2015 por todos os membros das Nações Unidas, é um dos principais impulsionadores para a urgência de um “plano de ação centrado nas pessoas, no planeta, na prosperidade, na paz e nas parcerias (5P), tendo como objetivo final a erradicação da pobreza e o desenvolvimento sustentável, no âmbito do qual todos os Estados e outras partes interessadas assumem responsabilidades próprias no que diz respeito à sua implementação, enfatizando-se que ninguém deve ser deixado para trás” (Ministério dos Negócios Estrangeiros, 2017).

Sucessores dos 8 Objetivos de Desenvolvimento do Milénio, os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) são um importante instrumento para o desenvolvimento

sustentável das sociedades, atuais e futuras, onde “os líderes mundiais se comprometeram com objetivos e esforços comuns, num esforço tão amplo e universal de agenda política” (Nações Unidas, 2015), comprometendo-se de uma forma que não tinha sido verificada até aquele momento.

O Protocolo de Quioto (1997) tratou-se da primeira ação conjunta para limitar as Alterações Climáticas por parte dos países desenvolvidos e altamente industrializados, com a adoção de políticas e medidas atenuantes para a redução das emissões, de forma a “estabilizar as concentrações atmosféricas de GEE a um nível que previna interferência perigosa no sistema climático” (Nações Unidas, 1997). Posteriormente, o Acordo de Paris ou *Conference of the Parties* (COP 21 – assegurado em 2015 por um conjunto de 196 países pertencentes à United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC), a vinculação das Partes levou a que os países submetessem as suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (“Nationally Determined Contributions – NDC” em inglês).

Todos os setores da sociedade terão um papel importante para reduzir as emissões globais. O setor da mobilidade e dos transportes é um dos que mais contribui para as emissões (Kamb et al., 2021) e, desta forma, este deverá assumir um papel importante ao nível da sua redução e do consumo de energia, já que é o principal responsável pelo consumo de energia a nível europeu (Figura 2.1). Estes compromissos estão centrados sobretudo ao nível do desenvolvimento de estratégias, planos e ações orientadas para uma economia de baixo carbono (Nações Unidas, 2015), contribuindo para se atingirem os objetivos assumidos pelas Partes através dos NDC, resultantes do Acordo de Paris, para limitar o aumento da temperatura global o mais próximo possível dos 1,5 Graus Celsius, comparando com os níveis pré-industriais.

Com vista a reduzir os impactes das atividades económicas europeias e atingir a neutralidade carbónica até 2050, a Comissão Europeia apostou no Pacto Ecológico Europeu (Comissão Europeia, 2019), onde prioriza as políticas de transportes e mobilidade sustentável e inteligente, bem como a adoção de tecnologias, soluções de mobilidade e combustíveis alternativos sustentáveis. O Livro Branco - Roteiro do espaço único europeu dos transportes define as orientações para preparar o sistema de transportes Europeu para os desafios futuros, apostando na eficiência energética e em tornar os transportes europeus mais sustentáveis (Comissão Europeia, 2011). A Rede Transeuropeia de Transportes visa desenvolver uma rede de transportes eficaz, multimodal à escala da União Europeia (UE), estabelecendo requisitos ao

nível da segurança, da qualidade dos transportes, desempenho e alinhamento com os objetivos ambientais (Comissão Europeia, 2021).

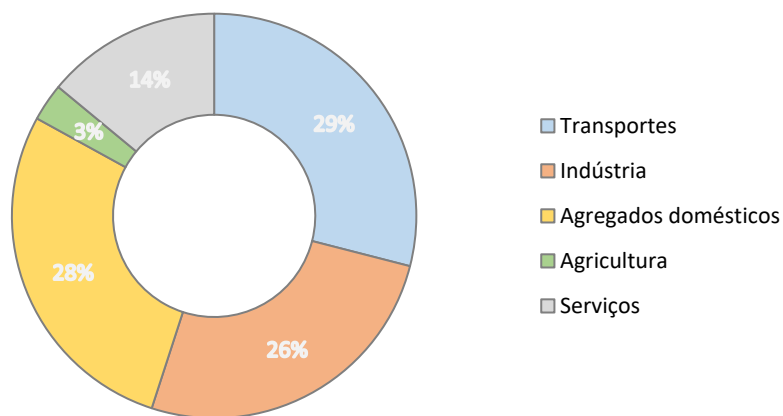


Figura 2.1. Consumo de energia por setor na União Europeia (UE-27) em 2021, em percentagem. (%). Dados: Pordata.

Após definir os seus objetivos relativamente ao cumprimento das ODS, Portugal elaborou o relatório nacional sobre a implementação da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (Ministério dos Negócios Estrangeiros, 2017), onde se destacam as seguintes orientações e objetivos aplicáveis à mobilidade e transportes (Figura 2.2):



Figura 2.2. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável aplicáveis à mobilidade e transportes. Fonte: Adaptado de Nações Unidas, 2023.

ODS 7 – Energias Renováveis e Acessíveis:

- Afirmar Portugal como fornecedor energético da Europa, líder na transição energética para uma economia de baixo carbono;
- Promover as fontes renováveis no consumo final de energia;
- Impulsionar a eficiência energética e expandir a mobilidade elétrica.

ODS 9 – Indústria, Inovação e Infraestruturas:

- Compromisso com os objetivos da Estratégia Europa 2020: mecanismo Interligar a Europa, com o intuito de financiar redes e infraestruturas resilientes nos setores dos transportes, das telecomunicações e da energia;
- Afirmação do interior, promoção da coesão territorial e integração na Rede Transeuropeia de Transportes
- Plano Estratégico dos Transportes e Infraestruturas 2014-2020 (PETI 3+), promovendo a coesão social e territorial, assegurando a mobilidade e acessibilidade de pessoas e bens, a sustentabilidade ambiental e assegurar a competitividade do setor dos transportes e a sua sustentabilidade financeira.

ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis

- Proporcionar o acesso a sistemas de transporte seguros, acessíveis, sustentáveis e a preço acessível para todos;
- Expansão da rede de transportes públicos, com especial atenção para as necessidades das pessoas em situação de vulnerabilidade, mulheres, crianças, pessoas com deficiência e idosos.

ODS 13 – Ação Climática

- Alcançar uma sociedade e economia resilientes, competitivas e de baixo carbono;
- Instrumentos de política para mitigação de GEE e de adaptação às alterações climáticas: Estratégia Nacional para as Alterações Climáticas 2020, Programa Nacional para as Alterações Climáticas 2020/2030, Roteiro de Neutralidade Carbónica para 2050 ou Programa para a Mobilidade Elétrica em Portugal.

2.1.2. Importância do setor dos transportes para o desenvolvimento das sociedades

O desenvolvimento dos transportes representa um contributo importante para a globalização e redução de distâncias, sendo um instrumento fundamental para a circulação de mercadorias e a livre circulação de pessoas numa sociedade globalizada (García-Olivares et al., 2020). A mobilidade está presente no nosso dia a dia, sendo encarada como um instrumento de desenvolvimento e acessibilidade das populações, acrescentando competitividade e assumindo benefícios diretos no bem-estar social e económico (Cruz et al., 2021). A Comissão Europeia (2016) refere-se aos transportes como a espinha dorsal da economia, correlacionando o crescimento da atividade económica com a atividade dos transportes, estando intrinsecamente ligado aos nossos padrões de consumo e aos padrões de utilização de recursos, nomeadamente no que respeita a alimentos, água, energia e recursos materiais. O setor contribui com 5% do Produto Interno Bruto (PIB) europeu, é responsável por cerca de 10 milhões de postos de trabalho diretos e tem um papel importante na coesão territorial e livre circulação de pessoas e mercadorias (Comissão Europeia, 2020a).

Os rápidos processos de urbanização em algumas regiões mundiais evidenciam a importância das infraestruturas de transportes que conectam diferentes áreas de uma cidade, como estradas, pontes ou vias-férreas. Estes tipos de infraestruturas incluem-se nas que são mais críticas numa cidade, contribuindo em grande parte para o fluxo do comércio, dos habitantes das cidades, dos bens, da informação e das atividades diárias da sociedade (Zheng He et al., 2022). Além de contribuir para a mobilidade, os transportes são essenciais para o cumprimento dos objetivos relativos aos processos de desenvolvimento sustentável de cidades, regiões e países (Kharlamova et al., 2022). A melhoria da eficiência energética, relativamente ao consumo de energia por passageiro, a utilização de energias verdes e a opção por infraestruturas intermodais deverão ter um contributo para minimizar os impactos ambientais do setor.

Em Portugal, seja para viagens nacionais de curta ou longa distância, o automóvel tem-se assumido como o principal meio de transporte. Este é o que mais contribui para os números do transporte rodoviário, representando uma diferença significativa na quantidade de passageiros transportados relativamente aos restantes tipos de transporte (Figura 2.3). Segundo a Agência Europeia do Ambiente (Agência Europeia do Ambiente, 2022b), o crescimento de

16,6% nos 27 Estados-Membros da União Europeia no volume de passageiros, entre 2000 e 2019, é devido ao crescimento exponencial do transporte automóvel em relação aos restantes meios de transporte terrestres. Nas grandes cidades, em áreas densamente povoadas e com elevada concentração de veículos, é reconhecido na literatura o crescimento da utilização deste tipo de transporte individual, sendo que a taxa de ocupação média dos veículos é baixa (1,5 passageiros) e os veículos geralmente mais antigos, acentuando o efeito poluente das emissões associadas aos automóveis (Noussan et al., 2022). Nestas áreas, os transportes públicos podem contribuir para aumentar a sustentabilidade do desenvolvimento territorial, oferecendo alternativas de serviços de transporte para pessoas e empresas (Kharlamova et al., 2022), em alternativa ao transporte individual motorizado.

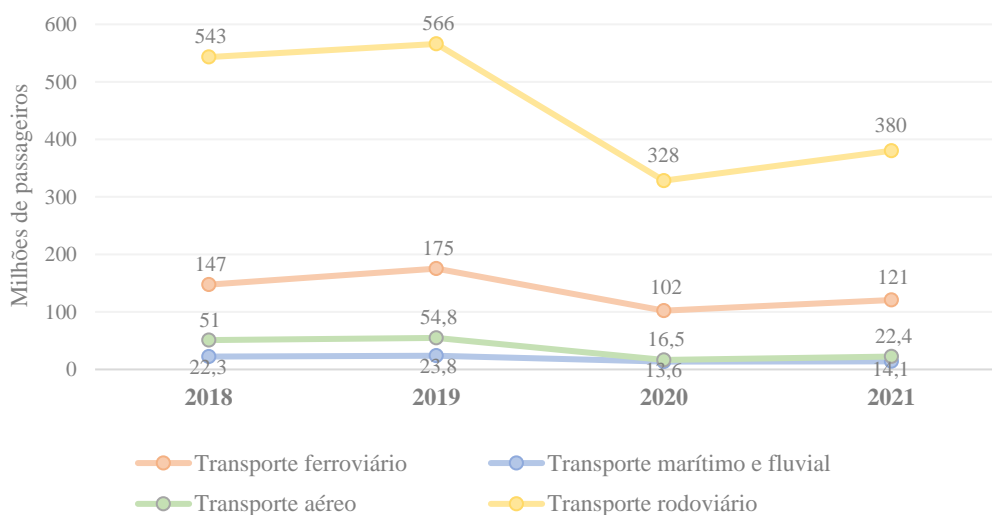


Figura 2.3. Passageiros transportados por modo de transporte entre 2018 e 2021 em Portugal. Dados: (Instituto Nacional de Estatística, 2022).

Considerando que nos últimos anos o número de utilizadores dos transportes vinha a aumentar, são patentes os efeitos provocados pela pandemia Covid-19, refletindo-se fortemente na mobilidade (Figura 2.3), demonstrando a importância do setor dos transportes. Em 2020, face a 2019, existiu uma diminuição acentuada do movimento de passageiros generalizado em Portugal e no resto do mundo. Relativamente ao transporte rodoviário de passageiros registou-se uma redução significativa do número de passageiros transportados em 42%. O número de passageiros transportados por comboio correspondeu a uma redução de 41,7% e o movimento de passageiros em aeroportos e aeródromos nacionais diminuiu em 69,4% (Instituto Nacional de Estatística, 2021).

2.1.3. Contribuição do setor dos transportes para o desenvolvimento das sociedades

A Organização Mundial da Saúde (OMS) classifica a poluição atmosférica como a “contaminação do ambiente interior ou exterior por qualquer agente químico, físico ou biológico que modifique as características naturais da atmosfera”. O dióxido de carbono (CO_2) é um gás que está presente na natureza e é necessário para os processos de fotossíntese (p.e. fotossíntese das plantas), sendo que em baixas concentrações é inofensivo para o ser humano e animais. Relativamente aos GEE, trata-se de gases formados por combustão (p.e. CO_2 , Metano, Óxido Nitroso, entre outros), que quando presente em grandes quantidades, não são neutralizados pela natureza (Ludin et al., 2021).

Os GEE são emitidos em diferentes fases da cadeia de abastecimento dos modos de transporte. Entre os gases associados ao setor, o CO_2 é o principal poluente associado, sendo que é comum converter os restantes poluentes em unidades de CO_2 equivalente ($\text{CO}_{2\text{eq}}$ ou $\text{CO}_{2\text{e}}$) para obter um fator de emissão único, em termos de Potencial de Aquecimento Global (Global Warming Potential - GWP) (Noussan et al., 2022). A concentração destes poluentes é particularmente relevante nas áreas urbanas, afetando a qualidade do ar, sendo o transporte rodoviário responsável – em grande parte devido à procura pelo automóvel enquanto meio transporte individual – por mais de metade das partículas de óxidos de azoto (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x) e das partículas com diâmetro inferior a 2,5 micrómetros ($\text{PM}_{2.5}$) emitidas, porém as emissões destes poluentes têm vindo a diminuir entre 2007 e 2017 – diminuição de 37% de NO_x , 70% de SO_x e 42% de $\text{PM}_{2.5}$ (Comissão Europeia, 2020b).

As etapas associadas à produção de energia para utilização como combustível ou eletricidade são representadas na Figura 2.4, onde se pode verificar a existência de emissões em cada fase do ciclo de produção de energia, denominado *Well-to-Wheel* (do poço-à-roda), ou seja desde o produtor até ao consumidor final. Relativamente aos modos de transporte, Noussan et al. (2022) destaca que o peso de cada fase varia consoante o veículo em questão. Os veículos mais pesados (p.e. carros ou autocarros com motor de combustão interna) representam um maior impacto nas emissões diretas e os veículos leves (p.e. veículos com duas rodas, elétricos ou a combustão) têm um maior impacto nas emissões de fabrico. As fases das emissões associadas ao ciclo de vida dos veículos são as seguintes:

- As emissões diretas estão associadas à utilização do veículo e consumo de combustível, são emitidas diretamente do veículo e estão relacionadas com o consumo de combustível (e.g. veículo com motor de combustão interna);
- As emissões indiretas, referidas na literatura como emissões *Well-to-Tank*, são as que estão associadas à cadeia de abastecimento de combustível, onde se inclui a extração, transformação, transporte ou armazenamento;
- As emissões de fabrico, associado às emissões causadas pela produção do veículo, onde se inclui o fabrico de baterias para carros elétricos;

As emissões de fim de vida, sempre que exista uma reciclagem ou reutilização de componentes ou materiais, sendo que estas emissões correspondem normalmente a uma pequena fração das emissões totais do tempo de vida dos veículos.

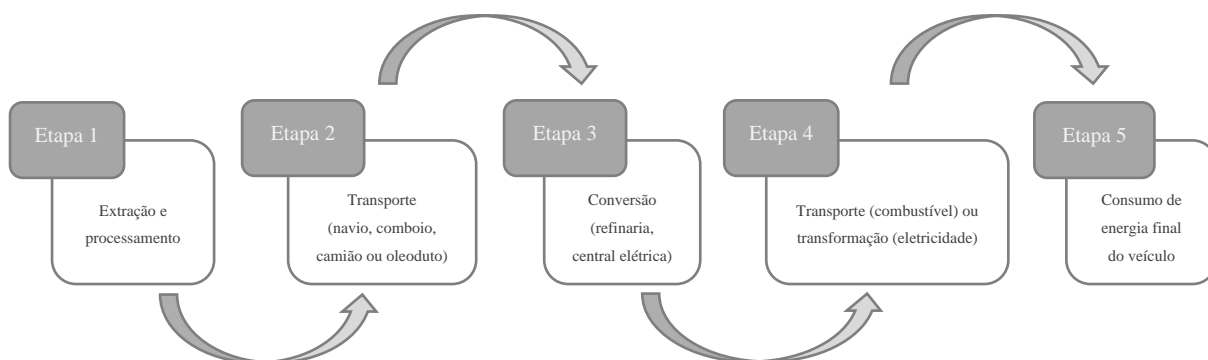


Figura 2.4. Etapas do ciclo energético para combustível e eletricidade. Fonte: Adaptado de Knörr & Hüttermann, 2016.

O setor dos transportes é uma das principais fontes responsáveis pelas emissões de GEE (Ludin et al., 2021), mantendo uma trajetória crescente contrariamente a outros setores. Este é responsável por cerca de 25,8% (2020) das emissões de GEE em Portugal (Agência Portuguesa do Ambiente, 2022), e por cerca de um quarto destas no espaço europeu, sendo a principal causa de poluição atmosférica nas áreas urbanas (Comissão Europeia, 2020a). Em 2018, comparativamente com 1990, a Comissão Europeia estima que o total de emissões do setor cresceu 31,8%. Segundo a Agência Europeia do Ambiente Agência Europeia do Ambiente, (2022), o transporte rodoviário teve a maior contribuição para este crescimento, contabilizando 71,8% do peso total das emissões associadas aos transportes na Europa (Figura

2.5), representando uma subida de 26,8% relativamente a 1990. Em Portugal, segundo o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050, 2019), o subsector rodoviário representa 96% das emissões de GEE dos transportes (destas, 60% são atribuídas ao automóvel), sendo que os restantes subsectores nacionais (ferrovia, aviação e navegação), representam os restantes 4% das emissões.

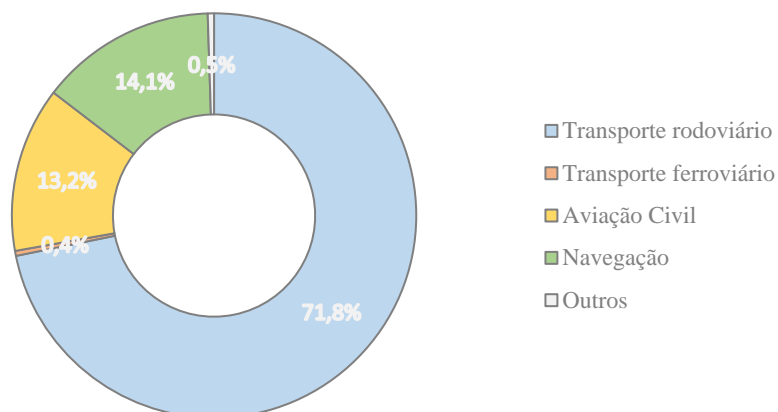


Figura 2.5. Partilha, por modo de transporte, do total de emissões de GEE dos transportes na eu-27 em 2018.

Fonte: Adaptado de Comissão Europeia, 2020.

Para o cálculo dos impactes ambientais do transporte de passageiros, torna-se necessário considerar a taxa de ocupação dos veículos, contabilizando-se o transporte em passageiro-quilómetro, e para o transporte de mercadorias é considerado o fator de carga, em tonelada-quilómetro (Agência Europeia do Ambiente, 2022b). Comparativamente ao transporte rodoviário individual e ao transporte aéreo, os transportes rodoviários coletivos, os transportes ferroviários e os modos de viagem ativos, (p.e. deslocações a pé ou de bicicleta) são os que apresentam menores custos ambientais, considerando as emissões por passageiro-quilómetro associadas (Comissão Europeia, 2020a).

No relatório *Transport and environment report 2020: Train or Plain* (Agência Europeia do Ambiente, 2021), evidencia que o transporte aéreo tem custos ambientais mais elevados por comparação com o transporte ferroviário (à exceção do ruído), especialmente em percursos inferiores a 500 km, embora esses custos por passageiro-quilómetro diminuam à medida que a distância aumenta, uma vez que a descolagem e a aterragem têm um peso significativo. Os custos de emissão de GEE diferem entre os diferentes modos de transporte,

Furtado (2020) estima que um avião polui 10 a 20 vezes mais que um comboio, facto que varia consideravelmente com o tipo de combustível utilizado e a ocupação.

Com isto, sendo o transporte rodoviário o que mais passageiros transporta, é o transporte aéreo o que tem a maior quota de emissões por grama de CO_{2e} por passageiro-quilómetro (Figura 2.6). Assim, as viagens aéreas têm várias vezes mais emissões por passageiro-quilómetro, em comparação a uma viagem de comboio (5 vezes superior) ou de carro (cerca de 2 vezes), considerando uma ocupação de 1,5 passageiros (Larsson & Kamb, 2019, citado em Kamb et al., 2021). Conclui-se que, apesar do transporte aéreo ser responsável por uma parte relativamente pequena de transporte de passageiros, sobretudo em viagens de turismo e de negócios, as suas longas distâncias percorridas resultam em emissões elevadas (Aamaas & Peters, 2017; Åkerman, 2012; Christensen, 2016; citado em Kamb et al., 2021) por passageiro-quilómetro.

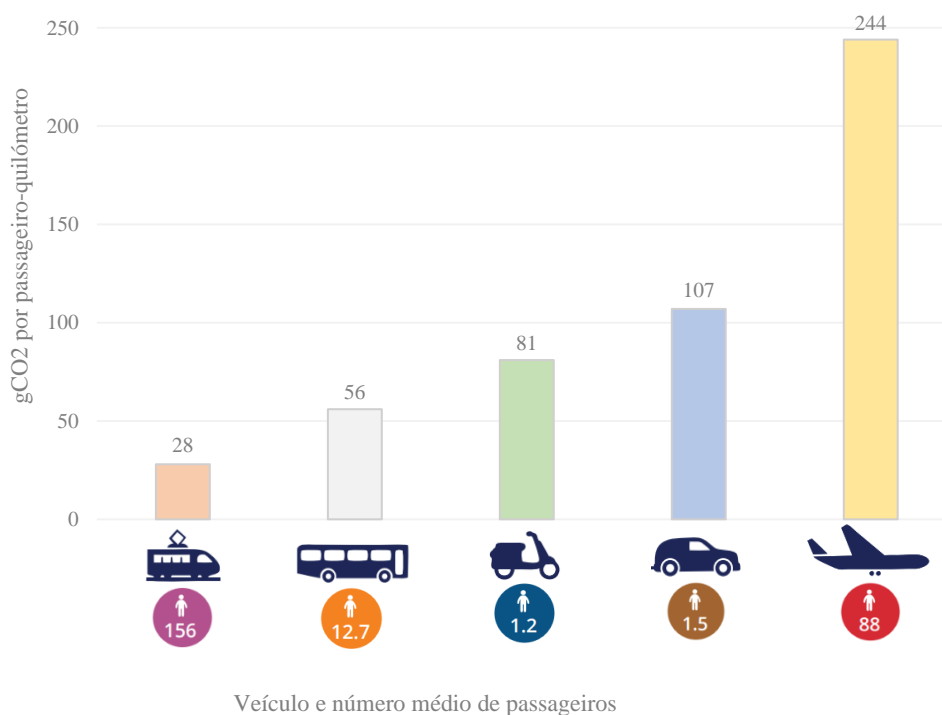


Figura 2.6. Contabilização das emissões por ocupação média nos vários modos de transporte. Fonte: adaptado de Agência Europeia do Ambiente, 2016.

2.1.4. Medidas de mitigação de emissões de GEE

A redução das emissões de GEE associadas aos transportes é um dos principais objetivos no que diz respeito às estratégias de mobilidade (IEA citado em Noussan et al., 2022) a nível europeu. A transição para uma economia 100% renovável tem sido realçada na literatura como um meio para alcançar o duplo objetivo de garantir a segurança energética e combater as alterações climáticas (García-Olivares et al., 2020), sendo que o crescimento destes mercados a nível mundial representa uma grande oportunidade de crescimento para o setor dos transportes e a criação de novos empregos (Comissão Europeia, 2016).

Com o objetivo de atingir a neutralidade climática, a Lei Europeia do Clima, adotada em junho de 2021, estabelece “uma meta coletiva de redução líquida das emissões de GEE de, pelo menos, 55% em 2030, em comparação com 1990” e que em 2050 todas as emissões líquidas de GEE devem ser compensados pela captura de carbono através de sumidouros naturais, como solos e florestas (Agência Europeia do Ambiente, 2022b), objetivos já assumidos em 2019 através do Pacto Ecológico Europeu (2019).

A transição para as energias limpas – estimular a produção e a utilização de combustíveis alternativos sustentáveis pelos diferentes modos de transporte – contribuem não apenas para a redução das emissões, como para a segurança energética e redução da dependência de combustíveis fósseis. Ao nível das emissões, a Comissão propõe a aplicação de normas mais rigorosas para as emissões de poluentes atmosféricos de veículos a combustão (Comissão Europeia, 2020a). A “Estratégia de mobilidade sustentável e inteligente” (Comissão Europeia, 2020a) definida pela Comissão Europeia, refere que ao nível do transporte rodoviário, estão a ser implementadas soluções de emissões zero e aposta em veículos elétricos a bateria, sendo que para o transporte ferroviário aponta como necessário a aposta na eletrificação e, quando não é possível, recorrer à utilização do hidrogénio. Relativamente aos transportes aéreo e marítimo, não existindo ainda alternativas adequadas, sugere impulsionar a produção e a adoção de combustíveis sustentáveis.

Em linha com as políticas europeias, Portugal estabeleceu as suas principais estratégias para uma mobilidade sustentável, onde o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 estabelece, de forma sustentada, os compromissos nacionais para atingir os compromissos do Acordo de Paris (RNC2050, 2019). Ao nível da mobilidade e transportes, apresenta como

principais impulsionadores para a descarbonização: mais eficiência e reforço dos sistemas de transporte público; aposta na mobilidade ativa e suave; maior eficiência associada à mobilidade partilhada e aos veículos autónomos; e aposta na eletrificação, biocombustíveis ou hidrogénio.

As medidas para atenuar os efeitos das alterações climáticas incluem mudanças estruturais, desenvolvimento tecnológico e ajustes no estilo de vida (Clora & Yu, 2022). Relativamente às infraestruturas, a Comissão Europeia (Comissão Europeia, 2019) propõe a criação de um sistema multimodal, aliado à implementação de infraestruturas inteligentes e interligadas ao nível das tecnologias e infraestruturas inovadoras, como as redes inteligentes, as redes de hidrogénio, a captura, armazenamento e utilização de dióxido de carbono e o armazenamento de energia. Para atingir este fim, a Comissão pretende um Espaço Único Europeu dos Transportes, refletido na Rede Transeuropeia de Transportes (RTE-T).

A opção por meios de transporte mais ecológicos também tem destaque na literatura. A eletrificação de veículos rodoviários (individuais e partilhados) e das infraestruturas ferroviárias, utilizando as energias renováveis (Kamb et al., 2021) para produção de energia é vista como a solução a curto prazo para reduzir drasticamente as emissões no espaço europeu. Na literatura existem algumas dúvidas acerca da viabilidade do setor dos transportes em manter a atual oferta, atendendo ao cenário de transição energética pretendido, porém é consensual a eletrificação dos transportes bem como a adoção de sistemas de transportes de baixa intensidade energética (García-Olivares et al., 2020). Kharlamova et al. referem a necessidade de implementar zonas de baixas emissões e restrições à utilização de combustão interna (Morton et al., 2021 citado em Kharlamova et al., 2022), sobretudo em zonas de elevada concentração de veículos nas grandes cidades.

Em vista à redução das emissões associadas ao setor, Kamb et al. (2021) apresentaram duas estratégias baseadas na escolha do modo de transporte e destino. De forma a manter a mobilidade atual, terá de existir uma adaptação nas escolhas dos passageiros. A primeira estratégia passa pela transferência para outros modos de transporte com melhor eficiência ao nível das emissões e a segunda pela redução de distâncias, através identificação de destinos alternativos que sejam mais próximos, mas que ofereçam experiências semelhantes (p.e. para viagens de lazer, substituir as viagens intercontinentais por viagens continentais ou domésticas que ofereçam entretenimento urbano semelhante; para viagens de negócios, optar por reuniões virtuais).

São encontradas na literatura diversas propostas de eficiência energética e medidas de redução de emissões. García-Olivares et al realça a implementação na Suécia de uma autoestrada com um sistema de catenária para camiões híbridos (Edelstein citado em García-Olivares et al., 2020), utilizando pantógrafos para recolher a energia elétrica e armazenar a energia em baterias. Quanto ao transporte aéreo de passageiros, que é o tipo de transporte com maior impacto sobre as emissões de GEE do setor, Ludin et al. (2021) enfatiza o facto de na Alemanha o avião ser frequentemente utilizado para viagens domésticas, sobretudo em viagens de negócios e voos privados, apontando para que este tipo de voos de curta duração sejam substituídos por alternativas mais ecológicas, e Kamb et al. (2021) reforça que o futuro dos combustíveis na aviação passará pela utilização de biocombustíveis e eletrificação das aeronaves em voos mais curtos.

O Regime de Comércio Europeu de Licenças de Emissão da União Europeia (RCLE-UE) constitui o instrumento mais importante de taxação do carbono a fim de internalizar o custo das emissões de CO₂ (Comissão Europeia, 2020a). A 1 de janeiro de 2012 passou-se a incluir as emissões de CO₂ do setor da aviação na União Europeia (Comissão Europeia, 2020b), englobando as emissões de todas as companhias aéreas que descolam ou pousam do continente europeu (Scharschmidt e Lippelt, 2012, citado em Ludin et al., 2021), sendo obrigadas a monitorizar, comunicar e verificar as suas emissões e a devolver as licenças de emissão em função dessas emissões. A Comissão Europeia pretende também alargar o regime de comércio de licenças ao setor dos transportes marítimos e avaliar a possibilidade de expandir o sistema de emissões aos transportes rodoviários (Comissão Europeia, 2020a).

2.1.5. Mobilidade sustentável

A mobilidade sustentável tem como princípio garantir a mobilidade de pessoas e bens, de forma que o volume de tráfego seja compatível com o ambiente e beneficie as camadas mais desfavorecidas da sociedade (Ludin et al., 2021). A procura constante dos sistemas de transporte e infraestruturas para satisfação das necessidades de mobilidade das populações provoca pressões a nível ambiental, podendo levar a uma sobrecarga sobre os próprios sistemas. Estas pressões têm impacto direto na sociedade e no ambiente, ao nível do ruído, da utilização intensiva do solo e do consumo excessivo de recursos. A noção de sustentabilidade está assente em três dimensões autónomas, mas interligadas, com peso idêntico para a satisfação das

necessidades humanas: a dimensão económica, a dimensão ecológica e a dimensão social (Ludin et al., 2021).

Reconhecido o peso das emissões provocadas pelo setor, será necessário adaptar os sistemas de transportes para atingir a sustentabilidade ambiental (Kharlamova et al., 2022). Sem restringir a mobilidade, o desafio passa por tornar os sistemas de transportes menos dependentes do petróleo, sem sacrificar a sua eficiência nem comprometer a mobilidade (Comissão Europeia, 2011), tanto nas grandes cidades, como em deslocações de longa duração.

De uma forma geral, os sistemas de transportes europeus atuais continuam a não ser sustentáveis (Comissão Europeia, 2012), sobretudo devido à tendência crescente ao nível da quantidade de passageiros, excetuando o período da pandemia, e das emissões associadas (Comissão Europeia, 2020b). Desta forma, será necessário um sistema europeu de transportes “menos energívoro e mais ecológico”, com uma rede de transportes de alta eficiência e baixas emissões, com capacidade de escoamento de grandes volumes de tráfego de passageiros e mercadorias (Comissão Europeia, 2011). Para alcançar a sustentabilidade nos transportes, será importante oferecer aos utilizadores opções mais baratas, acessíveis e limpas que a oferta atual (Comissão Europeia, 2019).

As estratégias europeias mais ambiciosas estão refletidas na “Estratégia de mobilidade sustentável e inteligente” (Comissão Europeia, 2020a), previstas no Pacto Ecológico Europeu, onde os transportes poderão ter uma forte contribuição nas medidas a implementar ao nível da mobilidade sustentável, apoiada pelas seguintes iniciativas:

- Impulsionar a adoção de veículos, navios e aviões de emissões nulas, de combustíveis renováveis e hipocarbónicos e das infraestruturas conexas;
- Criação de aeroportos e de portos sem emissões, com a promoção de combustíveis sustentáveis para a aviação e transporte marítimo;
- Tornar a mobilidade interurbana e urbana mais sustentável e saudável – por exemplo, duplicar o tráfego de alta-velocidade (ligações interurbanas) e desenvolvimento de infraestruturas cicláveis (ligações urbanas);

- Tornar o transporte de mercadorias mais sustentável – por exemplo, duplicando o tráfego ferroviário de mercadorias até 2050;
- Taxar o carbono e proporcionar incentivos.

As transformações ao nível da mobilidade estão dependentes de infraestruturas modernas, com uma rede adequada e pensada de forma racional criando acessibilidades, minimizando as incidências negativas no ambiente, visto que a infraestrutura molda a mobilidade (Comissão Europeia, 2011). As redes de transporte intermodais assumem importância ao nível dos sistemas de transporte público, oferecendo uma articulação modal e complementar entre os vários transportes (RNC2050, 2019). A existência de redes modais interligadas entre si abrangentes a todos os meios de transporte – aeroportos, estações de comboio, de metro, autocarro e portos – permitirá aos passageiros melhor e maior diversidade de escolhas, facilitando as deslocações, sendo que a opção pela utilização de sistemas eletrónicos de reserva e pagamento que englobem todos os transportes poderá trazer benefícios à mobilidade (Comissão Europeia, 2011).

Com a existência de infraestruturas modais de transporte, será benéfico conciliar opções com menor impacto de emissão passageiro-quilómetro e/ou carga-quilómetro, complementando a utilização de transportes coletivos com a mobilidade ativa e apostar em infraestruturas de carregamento e reabastecimento de veículos de emissões nulas, bem como o aprovisionamento de combustíveis renováveis e hipocarbónicos (Comissão Europeia, 2020a). Por exemplo, Furtado (2020) menciona que cerca de 93% do uso dos solos por infraestruturas na EU cabe às estradas, sendo que o caminho de ferro apenas ocupa 4%. Conclui ainda que a ferrovia consome em média 7 vezes menos energia e emite perto de 9 vezes menos dióxido de carbono que o transporte por estrada.

O desenvolvimento da Rede Transeuropeia de Transportes (RTE-T), alinhada com os objetivos do Pacto Ecológico Europeu, irá contribuir para o desenvolvimento de uma rede transeuropeia para o futuro, sem descontinuidades e com capacidade de transporte mais rápida e eficiente. Inclui-se neste os caminhos de ferro, vias navegáveis interiores, rotas marítimas de curta distância e estradas ligadas às cidades, portos marítimos e interiores, aeroportos e terminais (Comissão Europeia, 2021). Com o desenvolvimento da RTE-T, a Comissão Europeia (2020a) espera reforçar os acessos ao mercado interno, reduzir as disparidades

regionais e melhorias na conectividade, contribuindo para a eficácia das políticas de mobilidade sustentável. Considerando que o transporte ferroviário tem emissões diretas muito reduzidas (Comissão Europeia, 2020b), sobretudo quando este é totalmente eletrificado, torna-se necessário criar complementaridade do comboio e do metropolitano com outros modos de transporte, oferecendo ao passageiro a hipótese de escolher uma forma de transporte mais ecológica. A existência de um leque mais alargado de opções para o transporte pode ajudar a reduzir emissões, sobretudo se existir a possibilidade de o transporte ser efetuado por caminho de ferro (Agência Europeia do Ambiente, 2022b), em vez de avião ou de automóvel.

2.1.6. Desafios do setor dos transportes para responder às alterações climáticas

As medidas europeias de mitigação vieram permitir reduções significativas ao nível das emissões em praticamente todos os setores, exceto nos transportes, onde o aumento das emissões dificulta o objetivo de atingir a neutralidade climática até 2050 (Agência Europeia do Ambiente, 2022b). Um dos principais desafios para as próximas décadas será conciliar o crescimento económico com a transição ecológica, constituindo uma “oportunidade para relançar as economias de forma sustentável” (Comissão Europeia, 2020b). Estas serão apoiadas em mudanças estruturais ao nível da transição para sistemas energéticos sem combustíveis fósseis, do desenvolvimento tecnológico e adaptações do estilo de vida (Clora & Yu, 2022), em especial nos setores que têm um grande impacto no ambiente.

O desafio da eficiência energética e descarbonização também poderá representar uma oportunidade de crescimento para a Europa, especialmente num contexto em que a Europa pretende reduzir a sua dependência energética, sobretudo ao nível dos combustíveis fósseis (García-Olivares et al., 2020), relativamente a países externos. Porém, para ter êxito, terá de ocorrer de forma “equitativa e inclusiva”, para que os países mais vulneráveis sejam capazes de acompanhar as mudanças necessárias (Comissão Europeia, 2019). A importância do setor dos transportes comprova-se pela proporção do consumo final de energia que lhe está associado, relativamente aos outros setores da sociedade. No Quadro 2.1 é possível verificar que em 2021, relativamente a 1990, o consumo de energia dos transportes em relação aos outros setores aumentou a sua importância na Europa (UE-27), e em Portugal, sendo que em Espanha o peso do consumo de energia pelos transportes ligeiramente foi ligeiramente menor.

Quadro 2.1. Balanço do consumo final de energia do setor dos transportes (%). Dados: Pordata.

<i>Modo de transporte</i>	<i>Consumo de Energia final</i>			
	Energia total (tep)		Energia Transportes (%)	
	1990	2021	1990	2021
UE-27	906.471,2	939.868,9	24,3	29,2
Espanha	54.950,3	78.607,5	39,1	38,6
Portugal	11.375,3	15.754,7	29	34,6

A inevitabilidade da eletrificação em todos os setores energéticos levará a que em 2050 a produção de eletricidade seja 4 a 5 vezes superior a 2015 e que os combustíveis fósseis sejam completamente eliminados (Ram et al., 2018). O World Energy Outlook (IEA, 2022) estima que 40% da energia elétrica produzida, atualmente, provém de fontes de baixas emissões, sendo as energias renováveis responsáveis por cerca de 30% e a energia nuclear os restantes 10%, sendo que todos os anos se atingem novos máximos ao nível da capacidade de produção. A procura evidenciada de energia no setor dos transportes pede alterações estruturais ao nível das políticas climáticas e aposta em energias verdes. A eletrificação do transporte rodoviário ou a aposta na transferência modal para a ferrovia irão potenciar a procura pela energia elétrica, sendo essencial que exista uma maior capacidade de produção e rede para a sua distribuição.

Ao nível da eficácia das ações europeias de descarbonização, tais ações só serão efetivas se existir um esforço global por parte de todos os países subscritores do Acordo de Paris, visto que na ausência de medidas de mitigação no resto do mundo, os esforços europeus de descarbonização serão enfraquecidos (Clora & Yu, 2022). Relativamente às políticas climáticas europeias, Clora & Yu (2022) considerou que será necessário incentivar o resto do mundo a aderir às políticas de descarbonização, alertando para o risco de que a redução das emissões possa levar a uma perda da competitividade externa ou que a redução das emissões internas leve a fugas de carbono, em que uma redução de emissões no país de origem resulta num aumento em outro país com menores ambições climáticas.

O desenvolvimento das tecnologias de comunicação e de gestão de dados, juntamente com as novas tecnologias utilizadas para a atenuação das emissões (Figura 2.7), desempenharão

um papel importante no reforço da emergência de novas tecnologias. Um aspeto fundamental será o desenvolvimento de tecnologias de armazenamento de energia, já que será igualmente importante o desenvolvimento de tecnologias de produção de energias ecológicas (Taylor et al., 2019), como o hidrogénio ou os biocombustíveis, como a capacidade de armazenamento de grandes quantidades, para que seja possível eliminar os combustíveis fósseis no setor dos transportes.

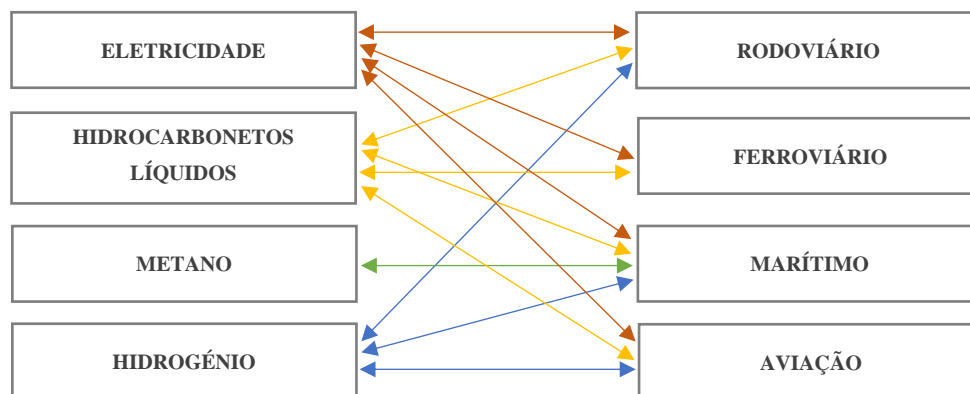


Figura 2.7. Esquema de correspondência entre os modos de transporte e os combustíveis que poderão utilizar para atingir a transição energética. Fonte: adaptado de Ram et al., 2018.

Comprovada a contribuição da aviação para as emissões do setor, sobretudo pela intensa utilização de combustíveis fósseis líquidos, os principais desafios são a inclusão de Combustíveis Sustentáveis para a Aviação (SAF – Sustainable Aviation Fuel, em inglês). Este tipo de combustíveis sustentáveis têm uma baixa percentagem de utilização, menos de 0.1%, e são geralmente misturados com os combustíveis tradicionais (Comissão Europeia, 2020b). As dificuldades na implementação de biocombustíveis prendem-se com a disponibilidade de recursos e os elevados custos de produção, que podem ser até seis vezes superiores aos provenientes de combustíveis fósseis (Tribunal de Contas Europeu, 2023).

2.2. Transporte de longa distância continental

2.3.1. Enquadramento do transporte aéreo

O transporte aéreo foi o modo de transporte que teve o crescimento mais acentuado desde a década de 1990 (Eurostat, 2020). Nas últimas décadas, a nível mundial, o setor da aviação teve o seu crescimento exponenciado, estando intimamente ligado à globalização. A procura por esta forma de transporte é potenciada sobretudo pelo turismo e pela necessidade de transporte de bens e alimentos para comércio, sendo que está em grande parte associado a viagens internacionais ou de longa distância (Agência Europeia do Ambiente, 2017), ao contrário de outros modos de transporte associados a pequenas deslocações. Portugal, de igual forma, beneficiou com um crescimento aeroportuário “sem precedentes nas últimas décadas, fruto da liberalização do transporte aéreo, do aparecimento e crescimento das companhias de baixo custo e da evolução registada pela Transportadora Aérea Portuguesa (TAP)” (Cruz, 2021), trazendo benefícios sobretudo ao nível dos milhões de turistas que entram em Portugal por via aérea.

A quantidade de passageiros transportados por via aérea provenientes ou com destino a Europa, em 2018, foi praticamente de mil milhões de pessoas (Eurostat, 2020). Depois do período de isolamento causado pela pandemia Covid-19, o transporte aéreo de passageiros continua em recuperação. Em 2021, comparando a 2019, observou-se uma redução acentuada de 63,9% de passageiros, voltando a registar-se um saldo positivo – crescimento de 35% – quando comparado com 2020. Os cinco países com uma maior representação ao nível do tráfego aéreo na EU-27 são a Alemanha, a Espanha, França, Itália e Grécia, sendo que em 2021 estes representavam 86,5% do tráfego aéreo global na União Europeia (Instituto Nacional de Estatística, 2022). As ligações aéreas entre Portugal e Espanha em 2021, segundo o Instituto Nacional de Estatística (2022), registaram 1,9 milhões de passageiros, entre chegadas e partidas. De resto, as ligações com origem ou destino Portugal mais relevantes foram a França (3,6 milhões de passageiros), o Reino Unido (2,6 milhões), Alemanha (2,1 milhões) e a Suíça (1,5 milhões).

Ao nível das infraestruturas aeroportuárias mais movimentadas entre os países da UE, o Aeroporto Charles de Gaulle, em Paris, é o aeroporto que regista o maior movimento de passageiros desde 2002, sendo que em 2022 movimentou cerca de 57 milhões de passageiros

(Figura A2.1, em anexo), ficando aquém dos 72 milhões de passageiros registados em 2018 (Eurostat, 2020). Os restantes, segundo dados do Eurostat (2023), são o Adolfo Suárez Madrid-Barajas, com praticamente 50 milhões de passageiros transportados, Frankfurt/Main e Amsterdam/Schipol com cerca de 48 milhões e o El Prat, de Barcelona, com 41 milhões de passageiros transportados.

O Eurostat (2020) estima que cerca de metade do transporte aéreo de passageiros foi efetuado em voos extra-UE. Já os voos intracomunitários – viagens entre países da UE – são responsáveis por cerca de 34% da totalidade dos voos, enquanto 16% destes correspondem a viagens nacionais (Quadro A2.1). A Figura 2.8 representa os aeroportos europeus com maior movimentação de passageiros, com relação entre os voos nacionais e os voos internacionais, sendo que se destaca o aeroporto de Paris-Orly ao nível dos voos nacionais, já que o transporte nacional representa cerca de 34,4% das viagens aéreas. As viagens domésticas entre os principais aeroportos espanhóis – Adolfo Suárez Madrid-Barajas, El Prat (Barcelona) e Palma de Maiorca – também são bastante representativas, representando respetivamente 28,5%, 29,2% e 27,5% de passageiros transportados provenientes de aeroportos domésticos.

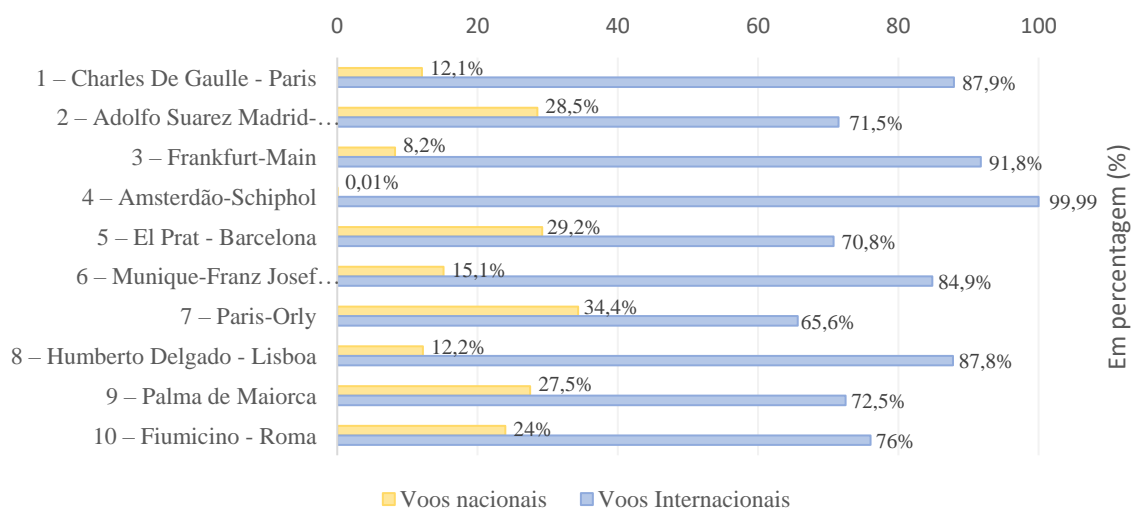


Figura 2.8. Percentagem entre viagens nacionais e internacionais nos principais aeroportos europeus com maior número de passageiros recebidos em 2022. Dados: Eurostat, 2023.

Relativamente aos aeroportos nacionais (Quadro A2.2, em anexo), o Aeroporto Humberto Delgado (Lisboa) movimentou em 2022 uma quantidade superior a 28 milhões de

passageiros, sendo que 12,2% dos voos tiveram como destino ou origem outro aeroporto Português. Seguiram-se os 12,5 milhões de passageiros transportados no Aeroporto Francisco Sá Carneiro (Porto), onde 14% foram voos nacionais e os mais de 8 milhões de passageiros registados no Aeroporto Gago Coutinho (Faro), com 5,5% destes a serem provenientes ou destinatários a aeroportos nacionais.

As necessidades energéticas ao nível da utilização de combustíveis é um dos grandes desafios, além de ser um dos setores com maior impacte ao nível das emissões de GEE. As necessidades energéticas da aviação internacional em 2018 eram 124,6% superiores a 1990 (Eurostat, 2020). A manter-se a atual procura de passageiros, o RNC2050 (2019) prevê que em distâncias inferiores a 1 500 km, a utilização de energia elétrica na aviação seja uma “solução custo-eficaz” e para distâncias superiores a solução poderá passar por aeronaves híbridas, recorrendo a combustíveis biológicos para a descolagem e aterragem.

2.3.2. Enquadramento do transporte ferroviário

A rede ferroviária europeia está atualmente em crescimento, após um período de estagnação e até mesmo retrocesso, impulsionada sobretudo pelo aparecimento dos primeiros projetos de alta velocidade (Repolho et al., 2012). Este crescimento tem vindo a permitir ao setor dos transportes beneficiar de melhorias significativas relativamente ao desempenho ambiental (Comissão Europeia, 2011). A construção das novas linhas de alta velocidade, apoiada pelo financiamento aos países europeus através de fundos distribuídos em nome da RTE-T e da coesão territorial, veio incentivar o desenvolvimento da rede ferroviária. Considerado um dos meios de transporte mais seguros, o comboio representa baixos níveis de sinistralidade (acidentes com veículos e passageiros), quando comparado com outros modos, bem como uma solução para os problemas de congestionamento verificados nos principais eixos viários das grandes cidades, aliado à redução dos consumos de energia e das emissões poluentes (Repolho et al., 2012). A mobilidade entre as principais cidades europeias tem levado a uma crescente aposta no comboio de alta velocidade (AV), permitindo aproximar as capitais europeias e reduzir tempos de viagem. Na Europa existem diversos exemplos de AV entre cidades europeias, como o Eurostar que une Londres a cidades como Paris, Bruxelas ou Amesterdão.

Em 2016, o comprimento das linhas ferroviárias contidas nos países da UE-28 representava uma extensão de 227 383 km (García-Olivares et al., 2020), sendo que em 2019 existiam 9 169 km de linhas de alta velocidade, um crescimento substancial face aos 1 001 km registados em 1995 (Agência Europeia do Ambiente, 2021). Segundo dados de 2019, a Alemanha destaca-se como o país com maior rede ferroviária em exploração, seguindo-se a França, Itália e Espanha (Quadro 2.2). Relativamente à percentagem de rede eletrificada, de destacar a Suíça, com a totalidade da sua rede explorada eletrificada. A Dinamarca sobressai pela negativa, uma vez que atualmente, apenas 27% da sua rede está coberta por energia elétrica.

Quadro 2.2. Extensão, em km, das redes ferroviárias nacionais e percentagem eletrificada (2019). Fonte: Adaptado de AMT, 2021.

<i>Países</i>	<i>Extensão das linhas em exploração em 2019, por tipo de linha (km)</i>		
	Eletrificada (%)	Não eletrificada (%)	Total (km)
Alemanha	53	47	39 379
França	59	41	28 070
Itália	70	30	18 475
Espanha	64	36	15 392
Suécia	75	25	10 899
Áustria	71	29	5 662
Suíça	100	0	5 292
Noruega	64	36	3 848
Bélgica	88	12	3 602
Países Baixos	76	24	3 055
Portugal	67	33	2 526
Dinamarca	27	73	2 540

Na Europa, segundo o Eurostat (2023), o transporte ferroviário registou em 2021 mais de 5 mil milhões de passageiros, ficando, porém, aquém dos 8 mil milhões de passageiros registados em 2018. Relativamente ao número de passageiros transportados em 2018, apenas uma pequena parte representou viagens internacionais – à exceção do Luxemburgo (26%), o peso das viagens internacionais era inferior a 8% em todos os países da UE (Figura A2.1, em

anexo). Apesar do decréscimo recente provocado pelo período de pandemia Covid-19, o número total de passageiros-quilómetro transportados na UE-27 por caminho-de-ferro registou um aumento substancial de 283% no período de 1995-2019 (Agência Europeia do Ambiente, 2021). Relativamente ao transporte ferroviário de AV, o número de passageiros-quilómetro ascendeu a 126 mil milhões de passageiros, beneficiado sobretudo pelo aumento substancial do comprimento das linhas destinadas à AV – 1 001 km em 1990 para 9 169 km em 2019 (Agência Europeia do Ambiente, 2021).

Existem diversas distinções para os diferentes tipos de serviço de passageiros, dependendo do alcance (Lawrence & Bullock, 2022). O comboio suburbano é considerado um meio de transporte adequado para corresponder a fluxos de tráfego densos, com um único comboio a poder transportar mais de mil passageiros de uma só vez. Este capaz de competir com os restantes modos de transporte públicos ou privados por ser um modo de transporte rápido e de grande capacidade de transporte, podendo ligar uma grande cidade a subúrbios localizados entre 20 e 80 km de distância. Além deste tipo, destacam-se outros serviços com uma cobertura geográfica mais alargada como os interurbanos de média distância (em Portugal regional e inter-regional), os comboios intercidade e de alta velocidade e os comboios internacionais.

O transporte ferroviário é uma das principais apostas da UE relativamente às estratégias de mobilidade sustentável. Para atingir os objetivos de reduzir 90% das emissões provenientes dos transportes até 2050, as estratégias de mobilidade europeias preveem que, até 2030, todas as viagens com menos de 500 km deverão ser neutras em carbono (Comissão Europeia, 2020a). Desta forma, a Comissão Europeia (2021a) encara os caminhos-de-ferro como uma parte essencial dos corredores europeus de transporte, identificados na RTE-T, para o futuro. Destacam-se medidas como a eletrificação total da rede principal da RTE-T, o dobro dos comboios de alta velocidade até 2030 e o triplo até 2050, velocidades mais elevadas para a ferrovia – velocidade mínima de 160 km/h para comboios de passageiros e 100 km/h para mercadorias – e a ligação dos aeroportos aos corredores ferroviários de AV, oferecendo em matéria de mobilidade sustentável a possibilidade de terminar com os voos domésticos e de curta distância ou eliminando escalas numa viagem com 2 ou mais voos.

2.3.3. Análise comparativa entre o modo ferroviário e aéreo

Para analisar de forma eficaz os impactos ambientais e a contribuição de ambos os modos de transporte para a mobilidade sustentável, torna-se necessária a comparação ao nível das necessidades energéticas e consequente fator de emissão de gases poluentes. Importa referir que as emissões totais, diretas e indiretas, são conhecidas como “Well-To-Tank” (WTT). Segundo o Eurostat (2020), em 2018 o consumo total de energia utilizado para os transportes na Europa foi superior a 287 Mtep, sendo o setor responsável por 24,6% das emissões de GEE associadas (Agência Europeia do Ambiente, 2021).

A Agência Europeia do Ambiente (Agência Europeia do Ambiente, 2021) identifica os fatores determinantes para a contabilização das emissões na aviação e na ferrovia, como é o caso da taxa de ocupação por veículo. Na aviação, além da ocupação, outros fatores determinantes são a energia utilizada por veículo-km e a eficiência energética da aeronave associada em todos os processos (descolagem, voo em altitude, aterragem e operações em terra), a gestão e as operações de tráfego e a quota de biocombustíveis utilizados. O consumo de energia provém principalmente de produtos petrolíferos, sendo que para a aviação internacional o combustível mais comum é querosene para aviação. Em 2018 as emissões WTT da aviação civil internacional na UE-27 foram de 129,2 milhões de toneladas de CO₂ equivalente (MtCO_{2e}) e da aviação doméstica 15 MtCO_{2e}, representando normalmente entre 12% e 30% do total do transporte aéreo, dependendo do tipo de poluente (Agência Europeia do Ambiente, 2021). As emissões de GEE dos países europeus para a aviação internacional representaram um aumento de 145% em 2019, relativamente a 1990 (Agência Europeia do Ambiente, 2022a).

No transporte ferroviário, são apontados fatores de emissão como o consumo específico de energia dos comboios de passageiros (energia utilizada por veículo-km), os procedimentos de gestão do tráfego, a intensidade das emissões de GEE da energia, características da infraestrutura (p.e. estado da infraestrutura, inclinações, curvatura, entre outros), podendo também ser influenciado pelas características do comboio como dimensão, peso, velocidade, idade e tipo de motorização do comboio. A produção de energia para a ferrovia pode ser obtida através de eletricidade, diesel ou carvão. As emissões reduzidas do setor ferroviário na Europa devem-se sobretudo à redução em 61% do consumo de combustíveis fósseis entre 1990 e 2020 (Agência Europeia do Ambiente, 2022a), fruto da crescente eletrificação deste modo de transporte. Os comboios movidos a diesel têm emissões diretas

associadas ao movimento do material circulante, porém a utilização de energia elétrica para a ferrovia não está isenta de emissões indiretas de poluentes atmosféricos associados à produção e transmissão de eletricidade. Além destes, tanto os comboios a diesel como os elétricos estão associados às emissões de partículas (PM) derivadas da abrasão dos cabos elétricos, dos rodados nos carris e da frenagem (Agência Europeia do Ambiente, 2021).

Comparando as emissões de GEE provenientes de comboios e aviões e tendo em conta que resultam de diferentes fontes de energia, os aviões são consideravelmente mais poluentes (Ludin et al., 2021), sobretudo ao nível da aviação internacional (Figura 2.9). No relatório “Train or Plain?”, da Agência Europeia do Ambiente (2021), são comparadas as emissões da ferrovia à aviação, doméstica e internacional, onde se demonstra que a aviação internacional é a que tem um maior peso ao nível dos poluentes associados, sobretudo na quota associada às emissões de NO_x. As emissões associadas à ferrovia apenas superam as da ferrovia relativamente às partículas PM₁₀. Os poluentes atmosféricos ao nível das emissões associadas à descolagem e aterragem (Agência Europeia do Ambiente, 2021) são mais expressivas nos COVNM (39%), sendo seguidas pelas PM (26%) e NO_x/SO_x (15%).

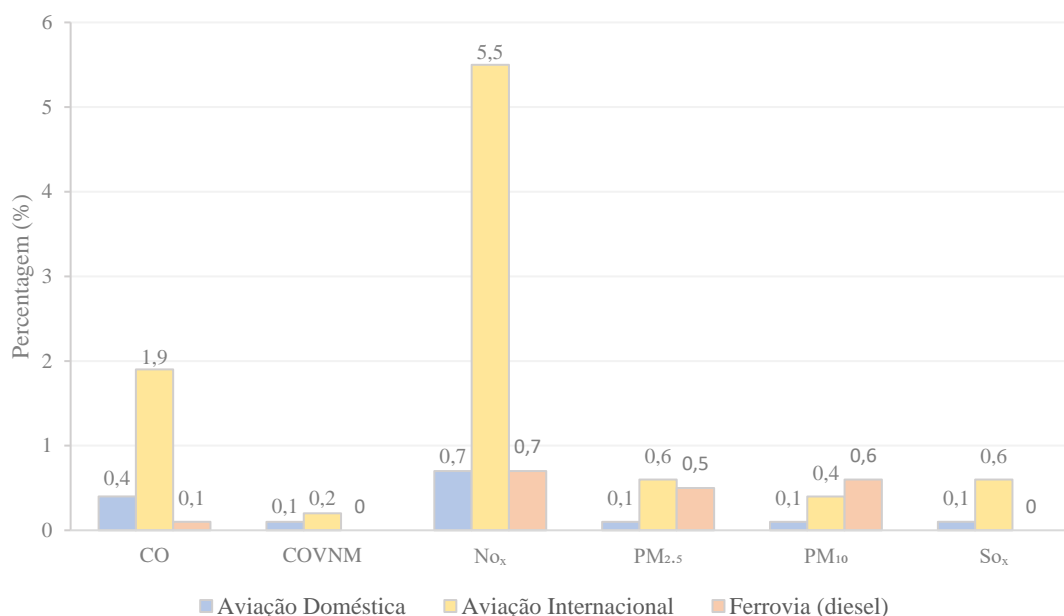


Figura 2.9. Contabilização dos principais poluentes atmosféricos – monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis não metânicos (COVNM), óxidos de azoto (NO_x), partículas com diâmetro inferior a 2,5 micrómetros (PM_{2.5}) e 10 micrómetros (PM₁₀) e óxidos de enxofre – provocados pela aviação doméstica e internacional e pelos comboios a diesel. Fonte: adaptado de Agência Europeia do Ambiente, 2021.

Para exemplificar, efetuou-se o cálculo das emissões para a viagem com a mesma origem-destino, entre Londres e Paris (Figura 2.10) com recurso à ferramenta de cálculo EcoPassenger. Ambas as situações, apesar do tempo de viagem por avião (1 hora e 20 minutos) entre o Aeroporto de Gatwick (Londres) e o Charles De Gaulle (Paris) ser inferior ao tempo de viagem mais rápido registado por comboio *Eurostar* de AV (2 horas e 26 minutos) entre as estações de Londres-St. Pancras e Paris-Gare Du Nord, será sempre necessário ter em conta o tempo mínimo de permanência no aeroporto antes do embarque e o tempo de desembarque. Verifica-se que as emissões associadas ao avião superam as do comboio, sobretudo ao nível do CO₂ e NO_x. Ao nível das infraestruturas, ambos os modos de transporte estão dependentes de outras ligações modais para as conexões, sendo sempre necessário uma forma de transporte complementar para completar a viagem.

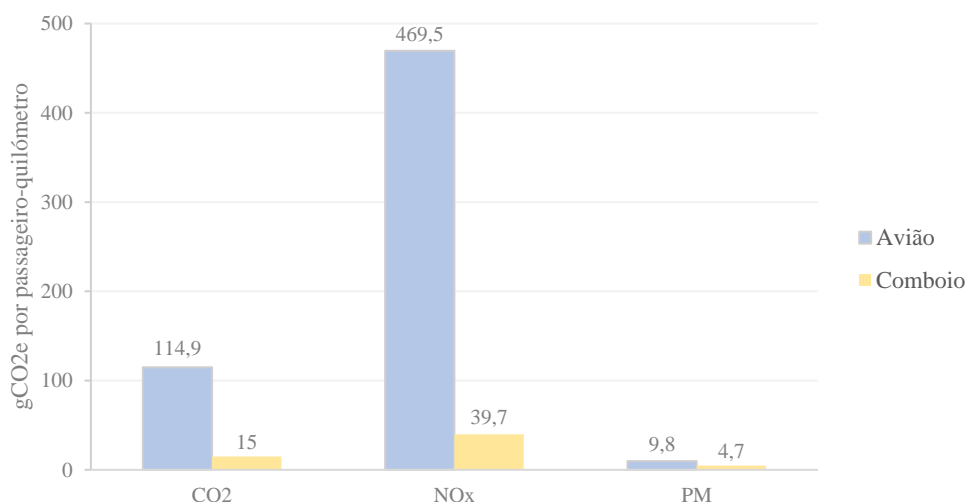


Figura 2.10. Comparação das emissões dos principais poluentes para o avião e o comboio, no percurso Londres-Paris. Dados: EcoPassenger, 2023.

Se, para a ferrovia a solução energética passa pela eletrificação – a conversão para comboio elétrico é ambientalmente favorável caso a energia elétrica utilizada seja parcialmente ou totalmente proveniente de fontes renováveis – para a aviação internacional o cenário poderá não ser tão simples, uma vez que está largamente dependente dos combustíveis fósseis e requer um elevado consumo de energia. Para a aviação, Ludin et al (2021) refere que os aviões movidos a bateria não serão viáveis até 2050 e as alternativas ecológicas para produção de energia passarão pelo hidrogénio e pelos biocombustíveis, sendo que devido à instabilidade atual do hidrogénio, a estratégia deverá passar pelos biocombustíveis.

O constante desenvolvimento tecnológico, aliado à utilização de combustíveis produzidos por fontes renováveis, é um fator de enorme importância para que estes modos de transporte sejam mais eficientes. No caso da ferrovia, o mais comum é a disponibilização da energia através de sistemas de catenária ligadas a infraestruturas fixas que distribuem a energia. Além deste sistema mais comum, também existem tecnologias que permitem o armazenamento de energia a bordo, ou processos de regeneração de energia. Um exemplo do processo de regeneração, normalmente utilizada em comboios elétricos, é a recuperação da energia dissipada durante a frenagem de um comboio, que é devolvida à fonte de alimentação de forma a ser recuperada e utilizada posteriormente por um outro comboio (Lawrence & Bullock, 2022). Os combustíveis alternativos representados no Quadro 2.3 apresentam diferentes fatores de emissões de GEE consoante o tipo de tecnologia utilizada.

Quadro 2.3. Combustíveis alternativos: emissões do poço-à-roda por quilowatt-hora. Fonte: adaptado de Lawrence & Bullock, 2022.

<i>Tecnologia</i>	<i>Emissões de GEE (kg CO₂e/kWh)</i>
Diesel	0.83
Hidrogénio em motor a combustão (reformação do gás natural com metano a vapor)	0.80
Hidrogénio cinzento (pilha de combustível) – formado por eletrólise utilizando eletricidade “castanha”	0.80
Gás liquefeito de petróleo (GPL) num motor a combustão	0.70
Gás natural, comprimido ou liquefeito, em motor de combustão	0.60
Sobrecarga elétrica	0.33
Biodiesel	Praticamente nulo
Hidrogénio verde (pilha de combustível) – formado por eletrólise utilizando eletricidade verde	Praticamente nulo

2.3.4. Resiliência dos transportes ferroviário e aéreo

A transição energética deverá representar o maior desafio para o setor dos transportes. Considerando o peso do setor nas emissões totais de GEE, o maior desafio será o abandono da energia produzida com recurso a combustíveis fósseis, seja para motores de combustão ou para produção de energia elétrica. Os combustíveis sustentáveis deverão representar um importante contributo para os objetivos de redução destas emissões, sobretudo para o setor dos transportes

se manter competitivo e de forma que não seja necessária a perda da mobilidade alcançada nas últimas décadas.

O setor aéreo luta contra o fato de ser um dos modos com maiores emissões poluentes associadas, bastante danosas para o planeta. O principal desafio será o desenvolvimento de tecnologias que permitam que seja energeticamente mais eficiente, eliminando gradualmente a utilização de combustíveis poluentes. Na Europa já se encontra implementado o Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE), para tentar limitar as emissões consequentes da aviação e, posteriormente, a Comissão Europeia adotou o regulamento ReFuelEU Aviação, apresentado no pacote legislativo Objetivo 55 (Comissão Europeia, 2023), que prevê que os fornecedores de combustíveis para aeronaves aumentem gradualmente a percentagem de combustíveis para a aviação sustentáveis – SAF (*Sustainable Aviation Fuel*, termo normalmente utilizado para referir combustíveis provenientes de fontes renováveis para a aviação) – e que as companhias abasteçam as aeronaves apenas com o combustível necessário para a viagem, eliminando as emissões relacionadas com o abastecimento excessivo, influenciando o peso da aeronave. Já para 2025, as operadoras aéreas que operem na Europa deverão utilizar uma percentagem mínima de 2% de combustíveis sustentáveis, aumentando gradualmente até atingirem os 68% em 2050 (Figura 2.11).

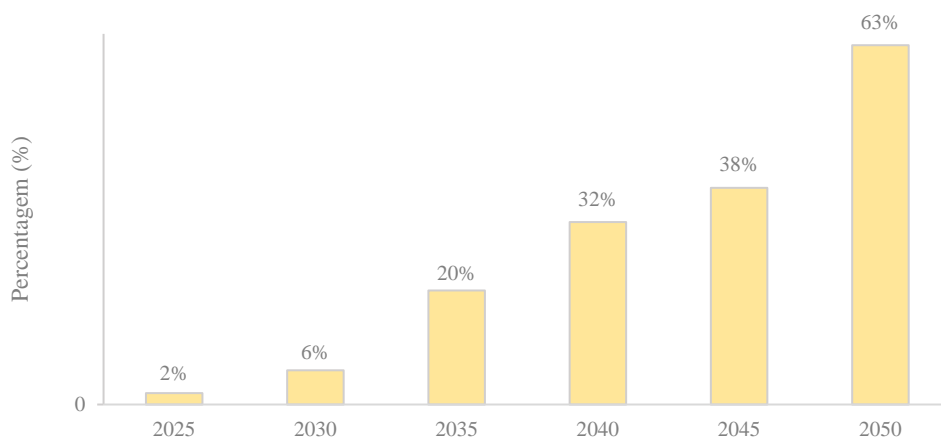


Figura 2.11. Percentagem mínima necessária de combustíveis sustentáveis para a aviação até 2050, de acordo com o Regulamento ReFuelEU Aviação. Dados: Comissão Europeia, 2023.

Relativamente ao caminho de ferro, seja a diesel ou eletricidade, é mais eficiente em termos energéticos e gera menos emissões por passageiro (Lawrence & Bullock, 2022) que os modos rodoviário e aéreo, movidos a combustão. Mesmo a questão das emissões associadas,

estas poderão ser facilmente eliminadas substituindo gradualmente o comboio a diesel por comboios elétricos com sistema de catenária, sendo a utilização de combustíveis sustentáveis relevante sobretudo para a produção da energia elétrica. Para este meio de transporte ganhar relevância a nível europeia, deverá existir aumento da oferta do setor ferroviário, o que só é possível com o desenvolvimento de infraestruturas ferroviárias que permitam ao passageiro chegar a locais que atualmente não é possível, ou quando possível a viagem apresenta tempos que não são competitivos com o transporte aéreo. Para ser alternativa, ou complemento, ao transporte aéreo (ver Figura 2.12) em viagens nacionais e transfronteiriças, o ideal será o desenvolvimento de uma ligação continental (p.e. na Europa, com o desenvolvimento da rede ferroviária de alta velocidade prevista na Rede Transeuropeia de Transportes).



Figura 2.12. Representação da rede ferroviária de alta velocidade, atual e futura, e correspondência com os aeroportos existentes na Península Ibérica. Fonte: Maps of the Comprehensive and the Core Network, 2017.

Desta forma, dois modos de transporte devem ser encarados numa ótica de complementaridade, nomeadamente com um misto de utilização do avião e do comboio numa única viagem. O avião poderá ser utilizado para a parte da viagem mais longa, numa distância

continental ou transcontinental sempre superior a 500 km, e a linha ferroviária estar ligada ao aeroporto de forma que o passageiro possa concluir a sua viagem até à cidade ou região pretendida, eliminando assim um possível voo doméstico/transfronteiriço ou o complemento da viagem com um veículo rodoviário individual.

A planificação contemporânea das infraestruturas de transportes implica que estas sejam concebidas de modo a tornarem-se resilientes a médio e longo prazo, em consonância com o desenvolvimento sustentável das sociedades, principalmente nas cidades, sendo que uma infraestrutura resiliente é uma infraestrutura mais bem preparada para lidar com perturbações ou incertezas externas, resultado da rápida urbanização (Zheng He et al., 2022), e catástrofes naturais ou provocadas pelo homem (Comissão Europeia, 2021). A importância da resiliência das infraestruturas de transportes associa-se à sua capacidade de recuperação após um determinado evento, a capacidade da infraestrutura em contribuir para os sistemas de transportes de baixas emissões ou o planeamento da infraestrutura para que não se torne obsoleta no curto/médio prazo, contribuindo para uma rede de transportes moderna, integrando melhor os diferentes modos num sistema de transporte multimodal e que sejam coerentes com os objetivos ambientais (Comissão Europeia, 2021), contribuindo para mitigar os efeitos das alterações climáticas. Energeticamente, será necessário assegurar que a transferência modal para modos de transportes mais sustentáveis tenha em conta o aumento das necessidades energéticas associadas aos mesmos, evitando a escassez de energia.

A transição modal para transportes mais sustentáveis só será viável com a aceitação das pessoas em alterar os seus hábitos de mobilidade. A Comissão Europeia (2020a) estima que sempre que exista alternativas com preços adequados, a mesma frequência e níveis de conforto semelhantes, as pessoas irão optar por transportes mais amigos do ambiente. A título de exemplo, a mesma fonte constata que desde que foi disponibilizada a linha de AV entre Madrid e Barcelona, a opção das pessoas pelo transporte aéreo e ferroviário passou de 85%/15% (favorável ao avião) para 38%/62% (favorável ao comboio), salientando a necessidade de criação de condições para que as alternativas apresentem preços acessíveis, tempos de viagem semelhantes e que sejam seguras e competitivas.

2.3.5. Desenvolvimento do transporte ferroviário de alta velocidade na Europa

As primeiras linhas de alta velocidade ferroviária (AVF) surgiram no Japão (Tóquio-Osaka) e na Europa (Repolho et al., 2012), sendo que inicialmente os desenvolvimentos nos países europeus se limitavam a uma escala nacional. A primeira AVF na Europa foi inaugurada em Itália (1977), no percurso entre Florença e Roma, seguindo-se França (1981) entre Paris e Lyon, Alemanha (1991) entre Hamburgo-Altona e Munique e Espanha (1992) entre Madrid e Sevilha. A AVF tem registado um aumento constante na Europa e nos países onde está presente, representa cerca de um quarto da quantidade de passageiros transportados por via-férrea, destacando-se a evolução de aproximadamente 15 mil milhões de passageiros-km, em 1990, para 124 mil milhões de passageiros-km em 2016 (Tribunal de Contas Europeu, 2018). O país com maior intensidade de utilização de passageiros-km em 2014 era a França, sendo cinco vezes superior a Espanha, 4,4 à Alemanha e 2,6 a Itália (Albalade & Fageda, 2016).

As estratégias de mobilidade sustentável e inteligente definidos pela Comissão Europeia (2020a) para 2030 estabelecem que todas as viagens programadas até 500 km devem ser neutras em carbono, sugerindo a duplicação de todo o tráfego ferroviário de alta velocidade, fator esse que pode ser determinante para a transferência modal de passageiros provenientes de outros meios de transporte. A aposta na AVF é encarada como a principal aposta da União Europeia relativamente a novos projetos na área dos transportes, sobretudo para diminuir a distância entre capitais europeias, pelo que a conclusão da RTE-T (Figura 2.13) é considerada essencial para a sustentabilidade do setor dos transportes e irá permitir desenvolver o transporte ferroviário em todo o território europeu, impulsionando a conectividade multimodal entre cidades, regiões e zonas periféricas (Parlamento Europeu, 2022).

O desenvolvimento de uma rede de AVF é considerado por Repolho et al. (2012) como complexo e dispendioso, dependendo sobretudo do número de passageiros servidos. O Tribunal de Contas Europeu (Tribunal de Contas Europeu, 2018) estima que a construção de uma linha de AVF tenha um custo médio de 25 milhões de euros por quilómetro, excluindo projetos mais caros, no caso de se envolver a construção de túneis, pontes, viadutos ou outras obras. As estimativas dos investimentos associados às infraestruturas da RTE-T, onde se inclui as ferroviárias, são de 500 mil milhões de euros para a rede principal e 1,5 mil milhões de euros para a rede global. No relatório especial acerca da situação atual da AVF na Europa, é

constatado que os objetivos europeus de triplicar o número de quilómetros de linhas de AV até 2030 - em 2018 encontravam-se em utilização cerca 9 000 km – poderão ser irrealistas já que nesse ano apenas se encontravam em construção 1 700 km e o tempo médio desde o início da construção até ao início de exploração de uma linha de AVF é de 16 anos.

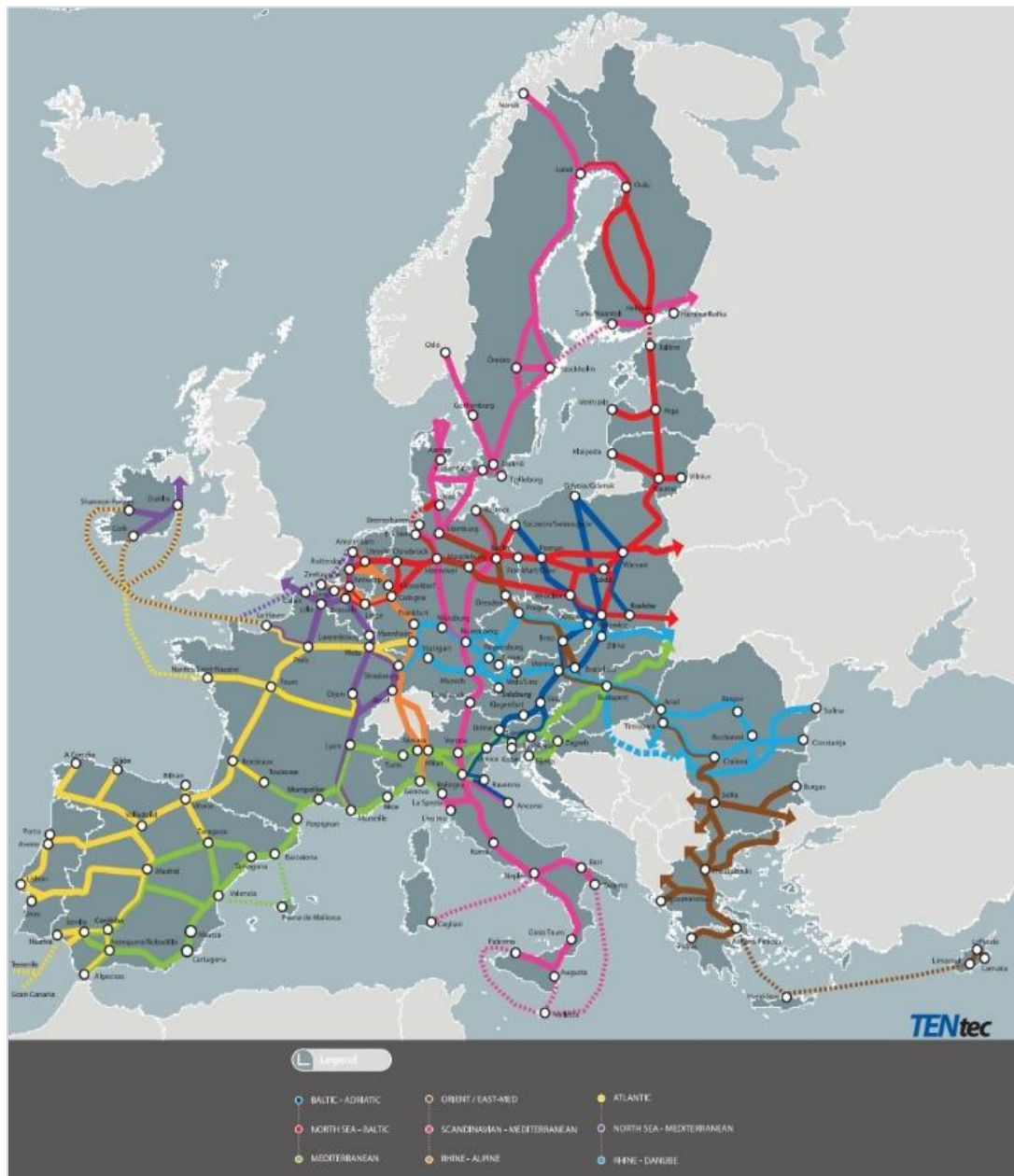


Figura 2.13. Rede Transeuropeia de Transportes. Fonte: Comissão Europeia.

A aposta em novas linhas de AVF, além de libertar a rede geral para os outros serviços (regionais, intercidades e/ou mercadorias), irá oferecer uma alternativa válida às viagens aéreas. Diversas medidas governamentais estão a ser implementadas em benefício do ambiente e que

favorecem a AVF. Em França, um dos países europeus com mais ligações de rede ferroviária e o que mais passageiros transporta por km em AVF, o ministro responsável pelos transportes Clément Beaune, confirmou (Franceinfo, 2023) a entrada em vigor em 24 de maio de 2023 da proibição para terminar com os voos domésticos, quando existir uma alternativa ferroviária com duração inferior a duas horas e meia. Esta medida afeta, numa fase inicial, três rotas aéreas que ligam Orly (Paris) a Bordéus, Nantes e Lyon. Além destas, refere que os objetivos são ainda mais ambiciosos, já que a medida não é definitiva e visa a melhoria dos serviços ferroviários para que possam oferecer uma alternativa ao transporte aéreo para lá das viagens inferiores a duas horas e meia.

Tendo em conta que as infraestruturas ferroviárias de AV são bastante dispendiosas, os novos investimentos deverão ser justificados pela quantidade de passageiros servidos. A atratividade da AVF está dependente da capacidade em captar um grande número de passageiros a outros meios de transporte (Repolho et al., 2012). Quanto maior for a base populacional que a rede irá servir, maior será a procura futura, trazendo benefícios para as populações como economias no tempo de viagem, elevados níveis de segurança, proteção e conforto a bordo, possibilitando a regeneração económica das áreas urbanas perto das estações (Tribunal de Contas Europeu, 2018).

2.3.6. Ferrovia na Península Ibérica

A principal característica diferenciadora da ferrovia portuguesa e espanhola em relação à restante rede ferroviária europeia é a bitola ibérica (distância entre carris), ser mais larga que a bitola *standard* europeia, que utiliza a largura de 1 435 mm entre carris. Com vista à uniformização da rede ibérica, Portugal adotou a bitola que já estava a ser utilizada pela Espanha no século XIX, passando a existir uma bitola comum de 1 668 mm. Apesar da rede ferroviária portuguesa ser constituída totalmente por bitola ibérica, em Espanha as redes de alta velocidade já são construídas com uma bitola europeia, permitindo dessa forma que os comboios possam circular a velocidades mais elevadas (De Rus, 2012).

A rede ferroviária espanhola, segundo dados da *International Union Of Railways* (UIC), tem uma extensão de rede explorada de 15 963 km, sendo que tendo 64,8% da rede é operada por energia elétrica (Quadro 2.4).

Quadro 2.4. Extensão da rede ferroviária eletrificada em Espanha. Dados: UIC.

<i>Ano</i>	<i>Extensão da rede ferroviária explorada (km)</i>		
	Eletrificada	Não eletrificada	Total
1995	7 398	6 383	13 781
2000	7 525	6 343	13 868
2010	9 314	6 276	15 590
2020	10 183	5 665	15 848
2021	10 345	5 618	15 963

Em 2005, a antiga RENFE dividiu-se em duas empresas com competências diferentes, a ADIF (*Administrador de Infraestructuras Ferroviarias*), que ficou responsável pela gestão da infraestrutura ferroviária, e a RENFE, o operador de transporte ferroviário de passageiros estatal (RENFE, 2023), sendo que o AVE (Alta Velocidad Española) é o serviço de alta velocidade operado pela RENFE, existindo ainda as operadoras de baixo custo Avlo, Ouigo e Iryo (Trainline, 2023). Recentemente, tem existido um forte investimento em Espanha relativamente à rede ferroviária de alta velocidade (Figura 2.14), sendo que a UIC (citado em Albalate & Fageda, 2016) coloca a Espanha como o segundo país com maior extensão, apenas atrás da China. A primeira linha de alta velocidade entre Madrid e Sevilha entrou em funcionamento em abril de 1992, estimando-se que existiu investimento total de 2,1 mil milhões de euros (De Rus, 2012). A política de transportes espanhola, observado por Albalate & Fageda (2016), consiste em ligar a capital Madrid a todas as capitais de província no mais curto espaço de tempo, justificando os investimentos neste modo de transporte. A RENFE destaca-se, assim, como líder mundial no transporte de alta velocidade (RENFE, 2023a), com parceria com a SNCF para ligar Madrid e Barcelona a diversas cidades francesas e com presença na Arábia Saudita e Estados Unidos.

infraestrutura é a empresa Infraestruturas de Portugal (IP), que se divide entre a gestão ferroviária e a gestão rodoviária. Os veículos existentes de transporte de passageiros, em 2021, caracterizavam-se por 406 veículos de tração, 2 298 vagões e 1 017 veículos para transporte de passageiros (Instituto Nacional de Estatística, 2022).

A quantidade de passageiros transportados em 2021 superou os 120 milhões de passageiros, registando um aumento de 18,1%, após a quebra de -41,7% que se registou em 2020 (Instituto Nacional de Estatística, 2022). Este registo positivo deve-se sobretudo à importância dos passageiros transportados nas áreas metropolitanas de Lisboa e do Porto, que comportam cerca de 90% dos passageiros transportados em Portugal. No entanto, de 2013 a 2018, o número de passageiros nos serviços de longo curso foi 40% superior, registando os números mais elevados por passageiro-quilómetro deste século (Furtado, 2020).

Quadro 2.5. Extensão da rede ferroviária eletrificada em Portugal. Dados: Pordata.

<i>Ano</i>	<i>Extensão da rede ferroviária explorada (km)</i>		
	Eletrificada	Não eletrificada	Total
1980	430	3 158	3 588
1990	458	2 668	3 126
2000	904	1 910	2 814
2010	1 488	1 355	2 843
2020	1 696	831	2 526
2021	1 791	736	2 527

O estado degradado da infraestrutura impede, em certos casos, que o material motor possa atingir a sua velocidade máxima, em vários troços da Linha do Norte, o Alfa Pendular (comboio de passageiros mais rápido a operar em Portugal) é incapaz de atingir a sua velocidade máxima de 220 km/h (Furtado, 2020). Apesar de existir uma aposta regular em serviços de Alfa Pendular e Intercidades, o desinvestimento na sua modernização impossibilita a redução dos tempos de viagem em menos de duas horas. Desta forma, o investimento numa nova rede ferroviária de alta velocidade deverá significar uma redução significativa dos tempos de viagem, retirando a pressão de tráfego da Linha do Norte e conectando as principais cidades portuguesas entre si, ligando inclusive Portugal ao resto da Europa (Figura 2.15).

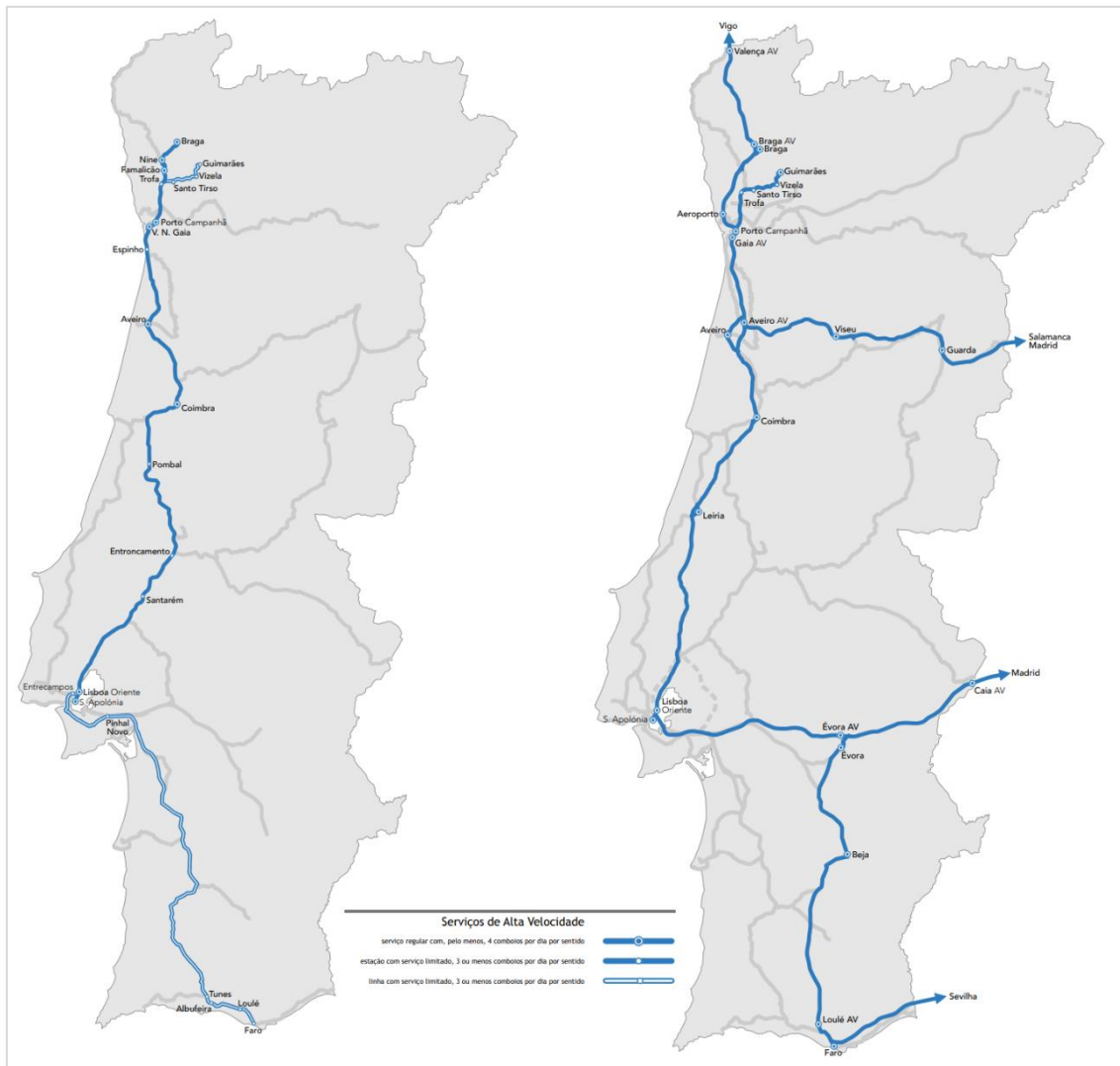


Figura 2.15. Estado atual da rede de Alta Velocidade (à esquerda) vs cenário futuro. Fonte: Adaptado de IP, 2022.

O desenvolvimento de uma nova AVF em Portugal é uma realidade que se poderá concretizar em breve, com a construção da nova linha entre Lisboa e Porto. De acordo com o Governo Português (Governo de Portugal, 2022), a implementação do projeto está prevista no Plano Nacional de Investimentos 2030, com um investimento previsto de cerca de 4,9 mil milhões de Euros e será desenvolvida de forma faseada até 2030. A primeira fase tem o custo previsto de 3 mil milhões de euros, estando prevista sua a inauguração até 2028 conectando Porto-Campanhã a Soure, permitindo uma redução em cerca de 50 minutos face ao tempo de viagem atual entre Lisboa e Porto. A segunda fase ligará Soure ao Carregado até 2030 (investimento estimado de 1900 milhões de Euros), permitindo que a viagem seja completada em 1 hora e 45 minutos. A terceira fase será a que tem menor impacte no tempo de viagem,

completando a linha entre o Carregado e Lisboa-Oriente. Além das estações terminais de Lisboa-Oriente e Porto-Campanhã, serão abrangidas as cidades de Leiria, Coimbra, Aveiro e Gaia, com pontos de ligação à restante rede convencional.

CAPÍTULO III: METODOLOGIA DO ESTUDO

3.1. Contabilização das emissões de Dióxido de carbono

A contabilização das emissões permite identificar os percursos mais críticos e o tipo de transporte mais eficiente do ponto de vista ambiental, entre o avião e o comboio, em cada uma das rotas previamente definidas, considerando a mesma origem-destino. Os fatores de emissão variam entre modos de transporte e inclusivamente dentro de cada modo (Noussan et al., 2022), pelo que é necessário considerar os seguintes fatores que influenciam o consumo energético e as emissões:

- Tipo de veículo – a idade e as características dos veículos podem influenciar o seu consumo, uma vez que o desenvolvimento tecnológico permite frequentemente o aparecimento de soluções mais ecológicas, levando a que os veículos mais recentes sejam considerados mais eficientes;
- Fonte de energia – o tipo de combustível pode influenciar a eficiência energética do veículo (p.e. mesmo quando se considera que um comboio é movido a eletricidade, deve ter-se em conta as emissões indiretas provenientes da produção de energia), bem como a proporção de combustíveis sustentáveis utilizado;
- Distância – dependendo do número de quilómetros percorridos no mesmo veículo, as emissões deverão ser distintas, uma vez que quanto maior for a viagem, maior será o consumo de energia e as emissões de CO₂ associadas. A curvatura da atmosfera terrestre, no caso dos aviões, e a curvatura do terreno, relativamente aos comboios, conduzem a distâncias superiores, uma vez que a contabilização não é calculada em linha reta;
- Ocupação do veículo – um veículo com maior taxa de ocupação permite que as emissões de carbono sejam divididas pelo número de ocupantes, reduzindo as emissões de CO₂ por passageiro. Por outro lado, no caso de um avião ou de um comboio, quanto menor for a lotação, maior é o impacto da viagem.

Desta forma, considerou-se necessário contabilizar as emissões específicas para cada um destes trajetos, a fim de avaliar se o investimento na ferrovia pode tornar a mobilidade mais sustentável. Existem variadas ferramentas para calcular os impactos climáticos de uma viagem e, na escolha da metodologia de cálculo das emissões, considerou-se que o principal objetivo seria obter as emissões exatas em cada percurso específico, tendo em conta o tipo de veículo: avião e comboio. Foi utilizada a ferramenta de cálculo *EcoPassenger*, desenvolvida pelo Ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung (Instituto para Investigação Energética e Ambiental) de Heidelberg (Alemanha), com o apoio da União Internacional de Caminhos-de-Ferro (UIC).

Para apurar as emissões produzidas por ambos o modo de transporte no estudo dos percursos, considerou-se o total de emissões *Well-to-Wheel* (do poço à roda), emitidas por via aérea e ferroviária. As emissões obtidas incluem apenas as que estão associadas à aeronave ou ao material circulante, excluindo as emissões necessárias para a construção das infraestruturas. Estas incluem as emissões associadas a:

- Produção;
- Transporte;
- Transformação;
- Consumo.

No caso das viagens aéreas de Lisboa para Badajoz (eixo Lisboa-Madrid-Barcelona) e do Porto para Vigo (Porto-Madrid e Madrid-Vigo), foi necessário estimar as emissões de CO₂ com base em trajetos com especificações semelhantes, uma vez que não foi possível obter dados específicos.

Em relação ao transporte aéreo, a metodologia (Knörr & Hüttermann, 2016) considera a energia utilizada e as emissões de um voo em função de:

- Fase do voo:
 - Aterragem e descolagem (LTO – *Landing and Take Off*) até aos 3000 pés (914,4 metros);
 - Subida, em cruzeiro e descida (CCD – *Climb, Cruise and Descent*), em altitude superior a 3000 pés.
- Distância do voo;

- Tipo de aeronave:
 - Rácio médio de utilização de passageiros para voos europeus.

Quanto ao comboio, incluem-se:

- O tipo de serviço (AV, intercity, urbano, entre outros);
- O tipo de combustível utilizado (eletricidade ou diesel), sendo as emissões por passageiro complementadas com um fator de carga médio para o tipo de percurso.

A principal limitação na metodologia prendeu-se com o facto de as emissões terem sido contabilizadas utilizando apenas a quantidade CO₂ emitida para a atmosfera como unidade de medida. Uma vez que o CO_{2eq} inclui a equivalência de outros GEE convertidos em unidades de CO₂, ao não se considerarem os restantes gases, não foi contemplado o real potencial de aquecimento global dos gases envolvidos. O risco de enviesamento dos dados chegou a ser considerado, por se tratar de uma ferramenta apoiada pela UIC, porém, após análise cuidada da metodologia utilizada para contabilizar as emissões (Knörr & Hüttermann, 2016), considerou-se que a metodologia utilizada se adequa aos objetivos pretendidos.

3.2. Processo de recolha de dados

Uma parte importante deste estudo era investigar os principais critérios de escolha de um tipo de transporte, a receptividade dos passageiros para optarem por viajar tendo em conta critérios ambientais, bem como verificar a receptividade relativamente à opção pelo comboio de alta velocidade para viagens de curta e média distância, como alternativa ao transporte aéreo.

Construiu-se um questionário intitulado “O peso dos impactos ambientais na escolha do modo de transporte”, com recurso à ferramenta *Google Forms* e teve a duração por um período de cerca de dois meses consecutivos, entre abril e maio de 2023, a fim de obter amostras representativas e imparciais, disponibilizado de forma:

- Presencial, em papel e através de código QR;
- *Online*, disponibilizado aos inquiridos em várias plataformas em linha.

Dado que qualquer pessoa poderia participar com a sua resposta, procurou-se dar prioridade aos utilizadores frequentes de transportes públicos e/ou transportes privados, bem como às pessoas que utilizam ocasionalmente os modos de transporte em estudo nas suas deslocações de média e longa distância.

Para o efeito, devido à quantidade de questões (27 questões, em que 25 destas de eram resposta obrigatória), pretendeu-se que estas fossem questões de resposta curta e rápida, pelo que se optou por utilizar um método de escolha múltipla ou de caixas de seleção, permitindo várias seleções em simultâneo. Este foi constituído por três partes:

- A primeira parte corresponde à caracterização do participante, pretendeu-se compreender de que forma as pessoas se movem diariamente e quais são as suas necessidades e preferências de transporte, seja em deslocações diárias ou para deslocações mais longas (considerou-se deslocações longas todas as que são superiores a 300 km), pretendendo inclusive compreender por que razão se deslocam normalmente;
- Numa segunda secção o objetivo passa por aferir quais as principais motivações quando escolhem viajar de avião e de comboio, bem como os principais fatores que desmotivam a sua decisão. Foram disponibilizadas opções para escolha dos fatores mais relevantes para o avião e para o comboio, de forma que o inquirido escolhesse quais considera prioritários numa viagem com origem-destino semelhantes.
- A terceira parte está diretamente relacionada com as ligações ibéricas consideradas neste estudo por comboio e avião, onde se procurou compreender os vários fatores que influenciam a escolha de um destes meios de transporte nos percursos em análise. Para cada percurso individual, considerando a mesma cidade de origem, foi facultada informação relevante relativamente ao tempo de viagem, ao preço, tempos mínimos de *check-in* ou embarque, necessidade de escalas ou transbordos e combustíveis utilizados. Por fim, foram disponibilizadas várias afirmações com o objetivo de analisar a sua concordância relativamente ao estado atual da ferrovia em Portugal e de que forma encaram o caminho de ferro como alternativa à aviação.

CAPÍTULO IV: ANÁLISE DE VIABILIDADE DO TRANSPORTE FERROVIÁRIO PARA AS LIGAÇÕES IBÉRICAS

4.1. Caracterização dos casos de estudo

A cultura ferroviária em Portugal e Espanha, como já foi verificado, é bastante diferenciada principalmente relativamente à extensão das linhas ferroviárias e sobretudo ao nível da existência de ligações ferroviárias de alta velocidade. Em Espanha a AV está presente há mais de 30 anos, contém uma extensão de cerca de 3 000 km e é uma das mais expressivas a nível mundial, construída com o foco de conectar Madrid às restantes capitais de província, unindo-a a outras regiões e às principais cidades do país como Barcelona, Valência ou Sevilha. Relativamente a Portugal, a rede convencional existente entre Lisboa e as principais cidades do país é antiga, está bastante desgastada com o tráfego existente e as obras de modernização são realizadas a um ritmo muito baixo, sendo que ligações de AV são discutidas desde o início deste século, não passando de estudos técnicos.

As ligações ferroviárias entre os dois países são atualmente bastante reduzidas, tendo em conta as ligações que existiram no passado e as potenciais ligações futuras. Atualmente, existem apenas duas ligações internacionais ativas entre ambos, nomeadamente a ligação bastante demorada, efetuada por um comboio regional a diesel, entre o Entroncamento e Badajoz e o serviço intercidades entre Porto e Vigo. Os restantes serviços internacionais que conectavam os dois países foram suspensos em 2020 na sequência da pandemia provocada pela Covid-19, não tendo sido, entretanto, retomados. O tráfego internacional entre os dois países é, assim, composto pelos seguintes serviços (CP, 2020):

- **Sud Expresso:** atualmente suspenso, efetuava a ligação Lisboa – Hendaye (França, junto à fronteira com Espanha) através de um serviço noturno, efetuando o percurso pela linha da Beira Alta passando a fronteira Portugal-Espanha em Vilar Formoso, sendo assegurado por uma composição pertencente à RENFE;
- **Lusitânia Comboio Hotel:** atualmente suspenso, efetuava a ligação entre Lisboa e Madrid com duração de cerca de 10 horas. Este comboio circulava juntamente

com o Sud Expresso entre Lisboa e Medina Del Campo, onde existia a divisão da composição em duas partes, seguindo o Sud Expresso para Hendaye e o Lusitânia para Madrid;

- **Raiano:** ligação entre Entroncamento e Badajoz, assegurado por material motor da CP, efetua o percurso pela Linha do Leste passando a fronteira Portugal-Espanha em Elvas, estando atualmente este serviço ativo com duas ligações diárias em cada sentido;
- **Celta:** ligação entre Porto e Vigo, efetua o percurso pela Linha do Minho passando a fronteira Portugal-Espanha em Valença, sendo o serviço assegurado em parceria entre a CP e a RENFE.

Além da capacidade de transporte, a ferrovia oferece a possibilidade de deslocação sem o consumo direto de combustíveis fósseis através da utilização de energia elétrica por sistema de catenária a altas velocidades, superiores a 250 km/h. A Figura A2.2 (em anexo), retirada do Diretório da Rede 2022 (IP, 2021), permite concluir que os troços em solo nacional utilizados para as ligações internacionais atualmente estão eletrificados, à exceção do troço de cerca de 140 quilómetros da Linha do Leste (conexão Abrantes-Badajoz). No Quadro 4.1 englobaram-se as características atuais dos percursos em estudo, necessárias para uma comparação avião-comboio, nomeadamente tempos de viagem, preços, frequências diárias e tipo de combustível utilizado.

Atualmente, com exceção do eixo Lisboa-Madrid-Barcelona, todos os restantes percursos são garantidos por um único comboio origem-destino. Verifica-se que para a ligação de Lisboa a Madrid são necessários dois transbordos (3 comboios) e para Barcelona é necessário um transbordo adicional em Madrid. Para chegar a Madrid, partindo de Lisboa, é necessário efetuar o primeiro transbordo no Entroncamento, até lá a rede está totalmente eletrificada. O comboio seguinte parte desta estação em direção a Badajoz, onde transbordo é efetuado necessariamente para uma automotora a diesel, uma vez que parte do percurso não está eletrificado, neste caso a linha do Leste entre Abrantes e Badajoz. Em Badajoz é possível embarcar num comboio *Intercity* de AV da RENFE, que funciona simultaneamente a diesel e eletricidade até Madrid (Chamartín), uma vez que a linha entre Plasencia e Badajoz está em fase final de eletrificação (fonte: Renfe, 2023b). Caso o destino da viagem seja Barcelona, é

possível completar a viagem novamente num comboio de AV, fator que possibilitará fazer a restante metade do percurso (cerca de 600 km, distância semelhante à de Lisboa a Madrid) em cerca de 2h30 (*thetrainline*, 2023).

Quadro 4.1. Caracterização das principais ligações ibéricas consideradas neste estudo.

Principais ligações ibéricas atuais					
Conexões	Lisboa – Porto				
	Percurso¹	Tempo de viagem²	Preço³	Frequência diária⁴	Combustível
Avião	Voo direto: Aeroporto Humberto Delgado – Aeroporto Francisco Sá Carneiro	2 horas e 30 minutos	45€	10	Querosene
Comboio	Comboio direto: Lisboa (Oriente) – Porto (Campanhã)	2 horas e 49 minutos	19,50€	10	Elétrico
Conexões	Lisboa – Madrid				
	Percurso¹	Tempo de viagem²	Preço³	Frequência diária⁴	Combustível
Avião	Voo direto: Aeroporto Humberto Delgado – Aeroporto Madrid-Barajas	2 horas e 50 minutos	40€	23	Querosene
Comboio	2 transbordos: Lisboa (Oriente) – Madrid (Atocha)	8 horas e 48 minutos	36,90€	2	Misto (Elétrico e Diesel)
Conexões	Lisboa – Barcelona				
	Percurso¹	Tempo de viagem²	Preço³	Frequência diária⁴	Combustível
Avião	Voo direto: Aeroporto Humberto Delgado – Aeroporto El Prat	3 horas e 20 minutos	33€	15	Querosene
Comboio	3 transbordos: Lisboa (Oriente) – Barcelona (Sants)	13 horas e 30 minutos	70,70€	2	Misto (Elétrico e Diesel)
Conexões	Porto – Vigo				
	Percurso¹	Tempo de viagem²	Preço³	Frequência diária⁴	Combustível
Avião	1 escala em Madrid: Aeroporto Francisco Sá Carneiro – Aeroporto Vigo	4 horas e 55 minutos	101€	4	Querosene
Comboio	Comboio direto: Porto (Campanhã) – Vigo (Guixar)	2 horas e 22 minutos	5,25€	2	Diesel

<i>Conexões</i>	<i>Lisboa – Faro</i>				
	<i>Percurso</i> ¹	<i>Tempo de viagem</i> ²	<i>Preço</i> ³	<i>Frequência diária</i> ⁴	<i>Combustível</i>
<i>Avião</i>	Voo direto: Aeroporto Humberto Delgado – Aeroporto de Faro	2 horas e 15 minutos	42€	4	Querosene
<i>Comboio</i>	Comboio direto: Lisboa (Oriente) - Faro (Estação de Faro)	3 horas	23,50€	2	Elétrico ⁵

¹ considerou-se o percurso mais rápido entre os dois pontos;

² considerando tempo mínimo de check-in no aeroporto e tempo de viagem;

³ preço do bilhete mais barato, comprado com 15 dias de antecedência em 25/03/2023: para o avião no sítio *eDreams* e para o comboio calculado nos sítios *cp.pt* e *thetrainline.com*;

⁴ quantidade de viagens disponíveis apenas de ida; No caso do comboio em Alfa Pendular ou, quando não existe, é considerado tipo de serviço mais rápido para o percurso;

⁵ o percurso encontra-se totalmente eletrificado, porém a catenária tem diferente tensão em cada país. Por falta de investimento em material circulante compatível pela CP e pela RENFE, é necessário efetuar o serviço com recurso a uma automotora a *diesel*.

4.2. Contabilização das emissões

De forma a identificar o meio de transporte mais impactante para o ambiente nos percursos definidos, reuniu-se no Quadro 4.2 os resultados da contabilização das emissões de CO₂ por passageiro associadas ao avião e ao comboio. O levantamento das emissões específicas foi efetuado com recurso à calculadora de emissões de carbono da *EcoPassenger*, considerando a ocupação média e o tipo de veículo em questão para cada um dos troços, ao qual se incluem as emissões associadas à produção e distribuição do combustível.

As viagens de avião que se efetuam entre cidades com distâncias mais longas apresentam as emissões mais elevadas por passageiro, à exceção da rota Porto-Vigo. As viagens aéreas Lisboa-Barcelona e Lisboa-Madrid apresentam resultados de 310,6 e 195,7 kg de CO₂ por passageiro, respetivamente. No entanto, a viagem com maiores emissões por passageiro-quilómetro é a que apresenta a menor distância entre cidades, uma vez que a inexistência de voos diretos entre Porto e Vigo obriga a que a viagem seja feita com escala em Madrid (2 aviões), contribuindo para um aumento substancial do número de quilómetros percorridos e para a duplicação do número de descolagens e aterragens. Por esta razão, apesar de ser a rota mais curta entre cidades, as emissões contabilizadas de 403,3 kg de CO₂ por passageiro fazem

com que esta seja a rota que regista emissões por passageiro-quilómetro mais elevadas. Note-se que, mesmo a nível nacional, as viagens aéreas representam emissões de CO₂ superiores a 100 kg por passageiro (Lisboa-Porto: 102,1 kg; Lisboa-Faro: 109,6 kg).

Quanto às viagens de comboio, as emissões são influenciadas principalmente pela distância e pelo tipo de veículo (combustível utilizado). Os percursos em que a viagem é feita exclusivamente com recurso a energia elétrica são os que apresentam emissões por passageiro consideravelmente mais baixos, como é o caso de Lisboa-Faro (5,8 kg) e Lisboa-Porto (6,7 kg). Quando a viagem envolve distâncias mais longas e uma parte da viagem em comboio a diesel, as emissões de CO₂ por passageiro aumentam consideravelmente, conforme se verifica nos resultados obtidos para Lisboa-Barcelona (83,9 kg) e Lisboa-Madrid (73,6 kg). A viagem mais curta (Porto-Vigo), por envolver um comboio direto movido a diesel, contribui para um resultado de 56,1 kg, um valor significativo para a viagem de comboio mais curta.

Quadro 4.2. Contabilização das emissões de CO₂ dos modos de transporte para os percursos em estudo.

<i>Percursos atuais</i>	<i>Emissões de CO₂ por passageiro "well to wheel"</i>			
	Avião		Comboio	
	Distância	Emissão (kg CO₂)	Distância	Emissão (kg CO₂)
<i>Lisboa-Porto</i>	277 km	102,1	306 km	6,7
<i>Lisboa-Madrid</i>	513 km	195,7	625 km	73,6
<i>Lisboa-Barcelona</i>	994 km	310,6	1236 km	83,9
<i>Lisboa-Faro</i>	222 km	109,6	274 km	5,8
<i>Porto-Vigo</i>	905 km	¹ 403,3	151 km	² 56,1

¹ Não existe voo direto entre o Aeroporto Francisco Sá Carneiro e o Aeroporto de Vigo, sendo necessário efetuar 1 escala em Madrid;

² Apesar do percurso estar totalmente eletrificado, devido às diferenças na tensão da catenária a viagem é efetuada com recurso a automotora movida a diesel.

Os resultados demonstram que as emissões de CO₂ por passageiro em viagens com a mesma origem e destino diferem consideravelmente consoante a distância, o tipo de veículo e o combustível utilizado. Em todos os casos estudados, a viagem de avião resulta em emissões de CO₂ mais elevadas que o comboio, especialmente em distâncias curtas onde as diferenças são mais acentuadas. A descolagem e a aterragem contribuem significativamente para as

emissões do avião, no entanto à medida que a distância vai aumentando, as diferenças nas emissões em relação ao comboio tornam-se gradualmente menores. A única exceção é a viagem de avião Porto-Vigo, uma vez que a escala em Madrid duplica o número de descolagens e aterragens. Quando o percurso é realizado exclusivamente em comboio elétrico, as diferenças nas emissões são consideravelmente distintas (Lisboa-Porto e Lisboa-Faro), sobretudo quando a produção de energia elétrica contém a utilização de uma parte proveniente de fontes renováveis. Contudo, mesmo quando a viagem envolve a utilização de um ou mais comboios movimentados a combustíveis fósseis (Lisboa-Madrid, Lisboa-Barcelona e Porto-Vigo), o comboio mantém uma intensidade carbónica inferior à do avião.

A comparação de uma viagem de avião e de comboio entre Lisboa e Porto evidencia que uma viagem de comboio resulta em cerca de 15 vezes menos emissões de CO₂ que numa viagem de avião e, no caso da viagem entre Lisboa e Faro, esta diferença é ainda mais evidenciada, uma vez que os impactos de uma viagem de avião são cerca de 19 vezes superiores. Relativamente aos percursos Lisboa-Madrid e Lisboa-Barcelona, as diferenças nas emissões são novamente favoráveis à viagem efetuadas por comboio, embora não sendo tão acentuadas como as anteriores (em ambos cerca de 4 vezes inferior), em virtude do aumento da distância e do tipo de combustível utilizado pelos diferentes comboios. Neste caso, a diferença nos resultados pode ser explicada pela utilização de comboios a diesel e, no caso do avião, porque os custos de emissão por passageiro-quilómetro de uma viagem de avião têm mais impacto na descolagem e aterragem que em velocidade de cruzeiro.

Embora a distância entre estas cidades seja a mais curta do estudo, as emissões resultantes das viagens de comboio entre Porto e Vigo são consideráveis. Tal situação é explicada por, apesar da linha ferroviária estar totalmente eletrificada, existem diferenças de tensão na catenária em ambos os lados da fronteira, o que obriga a que o percurso seja feito com material movido a diesel. Esta situação leva que as emissões de CO₂ sejam substancialmente mais elevadas, porém em comparação com o avião, estas mantêm as emissões de GEE cerca de 7 vezes menores.

Comparando com a literatura analisada, é evidente que a ferrovia pode efetivamente contribuir para a descarbonização do setor dos transportes. Os resultados deste estudo demonstram que uma viagem de avião tem 10 a 20 vezes mais emissões que uma viagem de comboio elétrico, contudo ficou demonstrado que a utilização de um comboio a diesel em parte

da viagem (caso de Lisboa-Madrid, Lisboa-Barcelona e Porto-Vigo) leva a que as emissões da ferrovia sejam “apenas” 4 a 7 vezes inferiores. Ficou demonstrado que a utilização de combustíveis fósseis está diretamente associada ao fator de emissão dos veículos, sendo que um comboio de passageiros a *diesel* polui o duas vezes mais de um comboio elétrico (Lawrence & Bullock, 2022).

4.3. Viabilidade económica

É consensual na literatura que a construção de novas linhas ferroviárias de alta velocidade só será economicamente rentável com a adesão bem-sucedida do público-alvo ou, neste caso, que a procura corresponda ao número potencial de passageiros pretendidos. O fator de atração pode tornar o investimento rentável a longo prazo, seja pela captação de passageiros a outros meios de transporte ou pela construção de novas linhas e/ou estações ferroviárias em locais onde há uma carência de transportes. Em alguns casos, como o de Portugal que se trata de um país pequeno, é necessário decidir entre construir uma nova LAV ou modernizar a infraestrutura para a adaptar à alta velocidade (Albalade & Bel, 2015), sendo que a construção de raiz é uma opção consideravelmente mais dispendiosa que a modernização de uma linha férrea convencional já existente (Furtado, 2020). No entanto, em casos como o eixo Lisboa-Porto (Linha do Norte), esta última mantém limitações ao nível de velocidades máximas e de capacidade, porém um aumento da oferta e melhoria de tempos de viagem implicariam um aumento do número de linhas, dado que alguns troços da linha funcionam simultaneamente com comboios de passageiros e mercadorias, gerando congestionamentos de tráfego.

No relatório especial do Tribunal de Contas Europeu sobre a rede ferroviária de alta velocidade na Europa (Tribunal de Contas Europeu, 2018), em que auditou 10 linhas de AV e 4 linhas transfronteiriças (incluindo o atual troço Lisboa-Madrid), é indicado um valor de referência de 9 milhões de passageiros por ano para que uma linha de AV seja bem-sucedida. Em 2017, o transporte aéreo foi responsável por cerca de 1,4 milhões de passageiros na ligação entre Lisboa e Madrid (OTEP, 2019). No entanto, no que respeita ao número de passageiros transportados pela CP em 2019 (CP, 2020), ano anterior às medidas de confinamento, o serviço internacional registou apenas 230 mil passageiros e os serviços de longo curso 6,4 milhões. Salienta-se que, no caso de alguns dos percursos analisados neste estudo, o transporte

ferroviário não representa atualmente uma alternativa viável em matéria de tempo/custo ao transporte aéreo (caso das ligações transfronteiriças do eixo Lisboa-Madrid-Barcelona). A título de exemplo, antes de 2008, o setor aéreo era responsável por cerca de 70% das viagens entre Madrid e Barcelona, contudo, após a abertura da AV, a quota modal baixou para 53% aéreo/47% ferroviário (ITF, 2014). A permanência da competitividade do transporte aéreo nesta rota é atribuída ao aparecimento das companhias aéreas *low cost*, que permitiu reduzir os preços das viagens, muitas vezes abaixo do custo do transporte ferroviário.

Quadro 4.3. Custos típicos de construção para novas linhas de alta velocidade de 500 km, em euros. Dados: Rus e Nash em ITF, 2014.

<i>Construção de Infraestruturas</i>	<i>Compra de Material circulante</i>	<i>Total</i>	<i>Manutenção da infraestrutura</i>	<i>Manutenção de material circulante</i>	<i>Outros custos de operação</i>	<i>Total</i>
10 mil milhões	600 milhões (40 un)	10,6 mil milhões	32,5 milhões por ano	36 milhões por ano	55,5 milhões por ano	124 milhões

Nota: a preços de 2005 (ITF, 2014)

Os custos de construção de uma LAV são significativamente influenciados pelas características do terreno (p.e. se o terreno for montanhoso ou existir cursos de água, poderá ser necessário a construção de pontes, túneis ou viadutos), mas não se limitam ao investimento na construção das infraestruturas (Furtado, 2020), devendo ser considerados os encargos com a manutenção da infraestrutura e os custos de operação, incluindo o material circulante, combustível, taxas de uso e custos com pessoal (Quadro 4.4). De acordo com Furtado (2020), o custo médio de construção deste tipo de linhas em Espanha foi de 18 milhões de euros por quilómetro, sendo que a linha entre Madrid e Barcelona (distância entre as cidades é semelhante à de Lisboa-Madrid) permitiu ligar as duas cidades em cerca de 2 horas e 45 minutos, resultando numa utilização entre 4 a 6 milhões de passageiros por ano entre as duas cidades e cerca de 10 milhões incluindo outras paragens. Os custos de construção de novas linhas são normalmente subsidiados pela União Europeia quando se enquadram nos objetivos estratégicos da rede transeuropeia de transportes.

Quadro 4.4. Identificação do investimentos necessários e tempos de viagem futuros nos percursos analisados.

<i>Eixo</i>	<i>Distância (km)</i>	<i>Custo total estimado (€)¹</i>	<i>Cidades beneficiadas</i>	<i>Tempo de viagem futuro</i>
<i>Lisboa (Oriente) – Porto (Campanhã)</i>	290	5,2 mil milhões	Lisboa Leiria Coimbra Aveiro Gaia Porto	- 1 hora e 20 minutos sem paragens - 1 hora e 45 minutos com 4 paragens
<i>Lisboa – Madrid</i>	501	5 mil milhões ²	Lisboa Évora Badajoz Mérida Cáceres Madrid	- 3 a 4 horas ³
<i>Porto -Vigo</i>	151	2,2 mil milhões	Trofa Famalicão Nine Braga Valença	- 1 hora e 5 minutos com 1 paragem em Braga - 1 hora e 15 minutos sem paragens
<i>Lisboa - Faro</i>	216	3,9 mil milhões	Lisboa Évora Beja Faro	- 1 hora e 55 minutos

¹ Considerando o custo médio das LAV em Espanha 18 milhões de euros por km (Furtado, 2020).

² Apenas o investimento efetuado em Portugal até à fronteira, inclui-se a construção da nova ponte sobre o Tejo (entre 1,5 e 1,8 mil milhões de euros).

³ Depende da construção de uma nova ponte sobre o tejo, com paragem em Évora no lado português.

Corredor Atlântico

O corredor ferroviário atlântico pertence à faixa costeira que se estende desde o sul de Portugal até à Galiza, em Espanha, abrangendo cidades como Faro, Lisboa, Porto, Vigo, Santiago de Compostela e Corunha. Este corredor é considerado um dos eixos prioritários inseridos nos planos da Rede Transeuropeia de Transportes. Neste sentido, destaca-se a nova LAV entre Lisboa e Porto (290 km), incluída no Plano Nacional de Investimentos, é considerada um investimento prioritário a concluir até 2030. O investimento total previsto é de cerca de 5,2 mil milhões de euros, sendo que só para a primeira fase estão previstos cerca de mil milhões de euros em fundos europeus do mecanismo Interligar a Europa (Portugal.gov, 2022), valor onde se incluí o custo estimado para o novo viaduto sobre o Rio Douro entre Gaia e Porto. A redução das atuais 2 horas e 49 minutos para cerca de 1 hora e 19 minutos sem

paragens e 1h hora e 49 minutos com paragens em Leiria, Coimbra, Aveiro e Gaia torna o comboio de AV mais atrativo para o passageiro em comparação com o avião e com outros modos de transporte (p.e. automóvel ou autocarro), considerando a variável “tempo de viagem”.

Em relação ao preço da viagem, a existência de tarifas atrativas no transporte aéreo implica que os operadores ferroviários tenham de oferecer tarifas mais acessíveis. Em Espanha, a liberalização do mercado é uma realidade que permitiu a entrada de companhias ferroviárias *Low Cost*, como a Ouigo ou a Avlo, que liga Madrid a Barcelona e permite comprar bilhetes por um custo a partir dos 9 € (*thetrainline*, 2023), se comprados com antecedência. Estimar que a nova AV atingirá os 9 milhões de passageiros poderá ser ambicioso, dada a densidade populacional das cidades abrangidas e a procura potencial de passageiros, no entanto um valor à volta dos 4 ou 5 milhões de passageiros por ano seria uma meta mais realista em comparação com exemplos semelhantes.

Quadro 4.5. Tempos de viagem estimados no percurso Lisboa-Porto. Dados: Portugal.gov, 2022.

Tempos de viagem estimados no percurso Lisboa-Porto				
Viagem de avião (incluindo tempo mínimo de check-in)	Comboio Alfa Pendular (atualmente)	Comboio Alfa com modernização completa da Linha do Norte	Com nova LAV (sem paragens)	Com nova LAV (4 paragens)
2h50	2h49	2h35	1h19	1h45

O eixo Porto-Vigo irá contribuir para a expansão da AV portuguesa para norte, conectando-se com a rede espanhola em direção à Galiza. Considerando as características atuais deste eixo, a proximidade geográfica entre as regiões (distam cerca de 121 km por ferrovia) não exige necessariamente uma nova linha, sendo que a modernização da linha atual seria suficiente para praticar velocidades próximas dos 250 km/h. A inexistência de rotas aéreas diretas entre a cidade do Porto e o Aeroporto de Vigo faz com que, *a priori*, a ferrovia seja uma alternativa custo-benefício eficiente, sendo o transporte rodoviário o seu principal concorrente, em vez do aéreo. O custo de construção deste troço poderá superar os 2 mil milhões de euros.

A sul, para além de uma LAV, seria necessário construir uma terceira ponte sobre o Tejo. Estas obras são necessárias para reduzir os tempos de percurso, uma vez que existem

várias restrições de velocidade associadas à passagem pela Ponte 25 de Abril e ao longo da Linha do Sul. O Plano Ferroviário Nacional prevê a inclusão das cidades de Évora e Beja na nova linha, que se estenderá até Faro. O investimento nestes eixos de AV seria justificado para conectar cidades com maior distância entre si, neste caso num contexto de corredor Atlântico. A ligação do Algarve à Corunha por AV ferroviária, abrangendo as cidades deste eixo com aeroportos como Lisboa, Porto ou Vigo, deverá ser crucial para a redução de voos de curta distância, oferecendo uma alternativa ecológica e com tempos de viagem competitivos.

Corredor Continental

O Corredor Continental considerado neste estudo consiste na ligação da rede ferroviária portuguesa com a restante rede europeia, necessariamente através de ligações com a rede espanhola. Relativamente ao eixo Lisboa-Madrid-Barcelona, a AV já está implementada entre Madrid e Barcelona, sendo que entre Badajoz e Madrid estará totalmente concluída até 2030. Atualmente, é possível efetuar uma viagem direta em AV entre Madrid e Badajoz, contudo ainda em comboios a *diesel*, uma vez que eletrificação da linha entre Plasencia e Badajoz ainda não está concluída. Do lado português, está em fase de construção, entre Évora e Elvas, um troço ferroviário de 90 km de rede ferroviária modernizada até à fronteira, que permitirá velocidades até 250 km/h, a velocidade mínima para a alta velocidade.

A construção da terceira travessia sobre o Tejo será importante para reduzir os tempos de viagem, uma vez que a travessia entre Lisboa e o Pragal não pode ultrapassar os 60 km/h devido restrições de velocidade na Ponte 25 de Abril, reduzindo os tempos de viagem entre Lisboa-Oriente e o sul ou o leste. Para o eixo Lisboa-Madrid-Barcelona, esta nova ponte irá dar ligação à nova linha de Évora a Elvas, expectando que ligue Lisboa a Badajoz em cerca de 1 hora e 20 minutos (Plano Ferroviário Nacional, 2022). Quando concluídos os investimentos em ambos os países, a viagem Lisboa-Madrid poderá ser concluída entre 3 e 4 horas em viagens diretas, sem necessidade de transbordos.

A construção destas linhas não tem necessariamente de depender do seu retorno económico. Todos os investimentos aqui considerados fazem parte das políticas de mitigação de emissões do setor dos transportes. Com a tendência para a redução das viagens em voos de curta duração, nacionais ou transfronteiriços, quando a AVF se tornar efetivamente uma alternativa, as pontes aéreas consideradas neste estudo poderão ser reduzidas, passando a

ferrovia a ser a alternativa mais ecológica. Em Espanha, por exemplo, a principal razão para a construção das LAV é a manutenção da coesão territorial.

4.4. Perceção da população à mudança de paradigma

Esta secção apresenta os resultados do processo de recolha de dados, obtidos através de um questionário (Modelo A4.1, em anexo) intitulado "O peso dos impactes ambientais na escolha do meio de transporte". Foram obtidas 352 respostas, divididas em 227 participantes do sexo feminino e 125 do sexo masculino (Figura A4.1).

Relativamente à faixa etária dos inquiridos (Figura A4.2), predominaram as respostas de pessoas com idade igual ou inferior a 25 anos (40,9%) e 25 a 34 anos (33,8%), sendo que tanto o grupo 35 a 44 anos como o 45 a 55 anos representaram 10,8% das respostas e apenas 3,7% com mais de 55 anos. Os níveis de escolaridade (Figura A4.3) são em grande maioria indivíduos com um grau académico de licenciatura ou superior (70,1%), enquanto 29,9% das pessoas possuem habilitação ao nível do secundário ou inferior. De uma forma global, destaca-se que mais de metade dos inquiridos são adultos empregados (52,3%) e 43,2% são estudantes (Figura A4.4). É de salientar que 69 inquiridos (19,6%) têm uma ligação profissional ao sector dos transportes (Figura A4.5), dos quais 60 estão ligados ao transporte ferroviário, registando-se ainda 8 respostas de pessoas ligadas ao sector rodoviário e 3 ao sector aéreo (Figura A4.6).

Quanto à forma de deslocação diária (Figura 4.1), a larga maioria dos inquiridos (62,5%) utiliza pelo menos um meio de transporte público, sendo usual em 65% um misto de partilha entre o transporte individual (p.e. carro ou mota) e o transporte público ou de mobilidade suave (p.e. a pé, bicicleta ou trotineta). No conjunto das respostas, é de destacar que a grande maioria (75,9%) indicou utilizar o automóvel nas suas deslocações diárias, contudo 48,9% das pessoas combinam o transporte individual com o transporte público. Por sua vez, o automóvel é o transporte individual que reúne um maior volume de respostas, sendo que 94 inquiridos (26,7%) apenas utilizam o automóvel como meio de transporte diário.

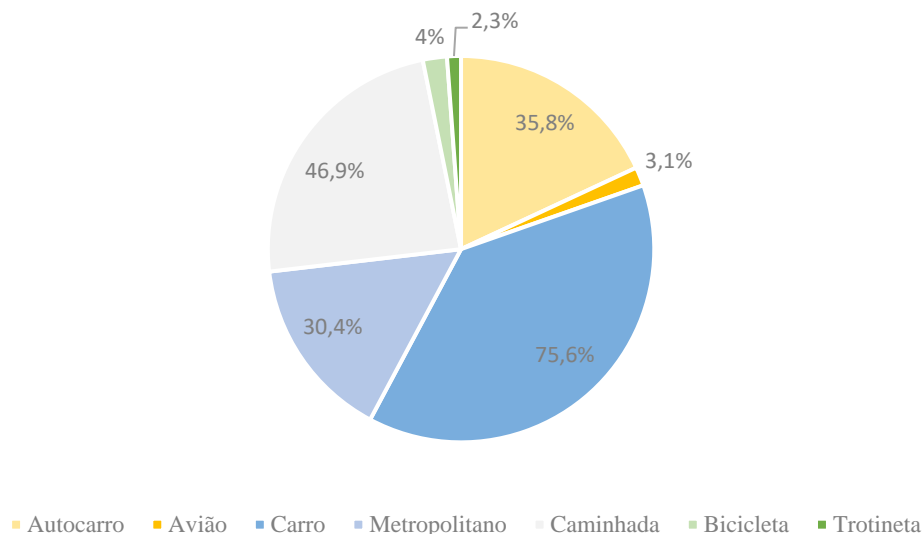


Figura 4.1. Meios de Transporte utilizados para as deslocações diárias.

A propósito das opções de transporte para deslocações longas, foi pedido aos inquiridos que indicassem as suas preferências, classificando entre 1 (maior preferência) e 4 (menor preferência) os seguintes meios de transporte: avião, comboio, autocarro e carro. Conforme se pode observar na Figura 4.2, o avião reúne consenso como o tipo de transporte preferencial para este tipo de viagem, registando um elevado número de respostas enquanto primeira opção, sendo notória a escolha pelo meio de transporte que atinge velocidades mais elevadas que os restantes. Na generalidade das respostas, a opção pelo carro ou pelo comboio são encaradas como as opções preferenciais após a escolha do avião, contudo, tendo em conta a globalidade das respostas, excluindo o avião, é possível verificar-se que o carro é o meio de transporte que regista uma maior quantidade de escolha enquanto primeira opção. A utilização do autocarro, em caso de viagens longas, é a opção que reúne menor preferência.

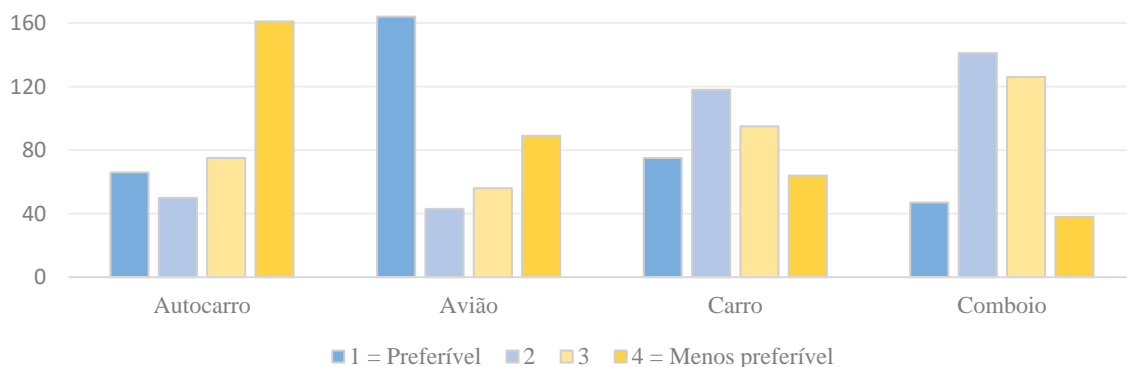


Figura 4.2. Preferência do meio de transporte para as deslocações longas.

A propósito das deslocações de média e longa distância, procurou-se perceber a com que frequência os inquiridos recorrem ao avião e ao comboio anualmente (Figura A4.8, em anexo). Em relação ao avião, grande parte das pessoas (48,9%) afirmam apenas utilizar o avião 1 vez por ano, enquanto 27,8% não utilizam normalmente o avião para estas deslocações. Apenas uma pequena parte dos inquiridos (3,7%) utiliza o avião mais que 5 vezes por ano e 25,6% entre 3 e 5 vezes. Quanto ao comboio, a distribuição das respostas é bastante simétrica entre as opções, variando entre 22,4% das pessoas que só utilizam o comboio 1 vez por ano para as suas deslocações de maior distância e os 26,7% que utilizam mais que 5 vezes por ano para as mesmas deslocações. Refira-se que 25,9% dos inquiridos não utilizam normalmente o comboio para as respetivas deslocações.

Perceção de relevância dos transportes aéreo e ferroviário

Nesta secção pretendeu-se aferir as principais motivações inerentes à escolha do avião ou do comboio, os principais fatores que desincentivam as suas escolhas e o peso que os impactes ambientais representam na opção pelo meio de transporte em que se irão deslocar. Ao nível das motivações relacionadas com a escolha do avião (Figura A4.9, em anexo), o tempo de viagem é o indicador que reúne maior consenso, sendo que a grande maioria dos inquiridos (cerca de 70%) o considera um fator muito vantajoso. Para além desta, a segurança, o conforto e as infraestruturas são igualmente vantagens relacionadas com este género de transporte. Entre as desvantagens, incluem-se a poluição associada, a necessidade de transporte complementar e os custos em termos de preços de viagem. Em relação ao modo ferroviário (Figura A4.10, em anexo), as motivações prendem-se sobretudo com as vantagens relacionadas com o custo da viagem, a poluição reduzida associada à deslocação e a segurança do transporte. De entre os restantes critérios, não se evidencia qualquer dos indicadores enquanto muito desvantajoso, embora as infraestruturas e a necessidade de transporte complementar sejam os que reúnem um maior número de respostas “ligeiramente desfavorável”.

Pretendeu-se que as pessoas escolhessem diretamente entre o transporte aéreo e o ferroviário (Figura 4.3), relacionando cada parâmetro com o modo que consideram mais benéfico. Hierarquizando pela quantidade de respostas, destaca-se novamente o “tempo de viagem” como o principal aspeto associado ao transporte aéreo, enquanto no caso do ferroviário, o destaque vai para o “tempo de embarque” (quando comparado com o tempo de

antecedência de *check-in*, para uma viagem de avião). Adicionalmente, as infraestruturas associadas, o conforto e o tempo total de viagem (incluindo inclusive o tempo de *check-in*) foram selecionados pelos inquiridos vantagens do avião. No caso do comboio, as vantagens sobre o avião incidem nas reduzidas emissões associadas, o custo da viagem a flexibilidade e a capacidade de transporte.

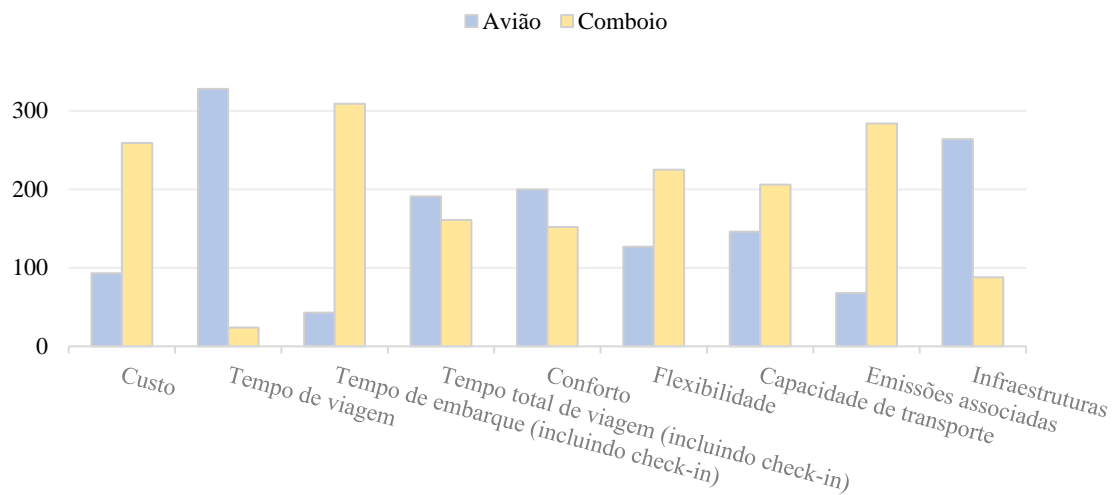


Figura 4.3. Análise comparativa entre o avião e o comboio, tendo em conta vários parâmetros.

Para o presente estudo, procurou-se perceber a quantidade de escalas e transbordos aceitáveis para ambos os meios de transporte e sobretudo se os inquiridos estão dispostos a sujeitar-se a um maior número de transbordos se o comboio representar uma alternativa viável ao avião. Verifica-se que cerca de 70% das pessoas estão na disposição de efetuar no máximo 1 escala por viagem de avião (Figura A4.11, em anexo), em contrapartida, no que respeita ao número máximo de transbordos para uma viagem de comboio, mais de metade considera aceitável um máximo de 1 transbordo e cerca de 27% aceita efetuar um máximo 2 transbordos. A Figura A4.11 ilustra que, para uma viagem com a mesma origem-destino e admitindo o comboio como alternativa ao avião, se verifica um aumento da aceitação de efetuar mais do que um transbordo, sendo notório o aumento de respostas de 2, 3 e mais que 3 transbordos máximos.

Foram utilizadas um conjunto de questões de concordância para compreender as motivações inerentes à escolha do transporte (Figura 4.4), assim como avaliar em que medida existe uma preocupação ecológica em cada participante (Figura 4.4 e Figura 4.5). A maioria das pessoas afirmou concordar totalmente com as afirmações “na escolha do meio de transporte,

privilegio o tempo de viagem” e “na escolha do meio de transporte, privilegio o custo de viagem”. Destaque igualmente para a “concordância total” em mais de metade dos inquiridos para a afirmação onde se refere que o avião é um meio de transporte mais rápido que o comboio, notando-se, no entanto, um consenso na preferência pelo comboio caso o tempo de viagem seja semelhante a uma viagem de avião. A respeito das afirmações sobre as preocupações ambientais, mais de metade dos inquiridos afirma concordar totalmente que o comboio é um transporte menos poluente que o avião e uma grande parte (concordância parcial e total) exprime preocupação relativamente às emissões de GEE associadas às suas deslocações.

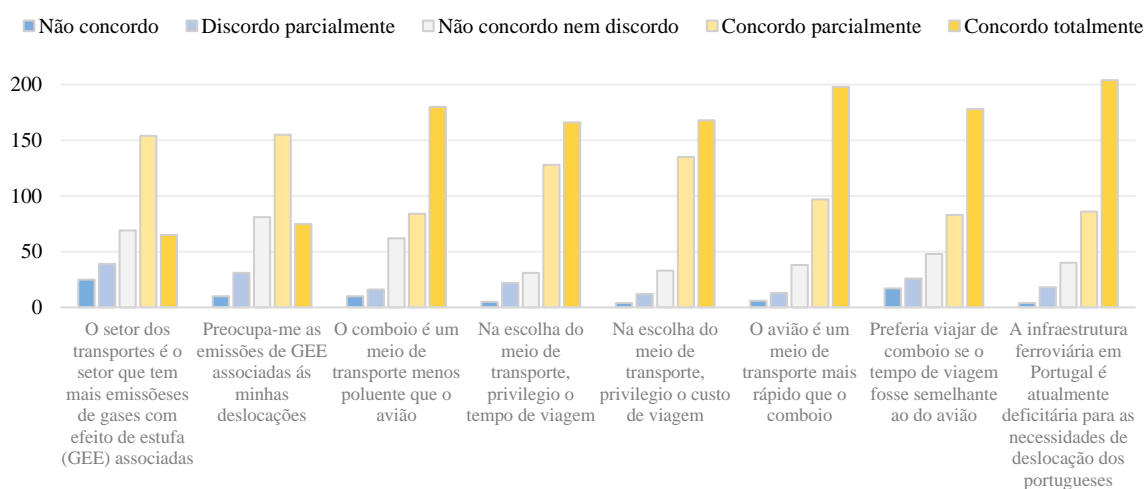


Figura 4.4. Análise de concordância referente às preocupações ambientais e motivações inerentes à escolha do transporte.

Medir o peso dos impactes ambientais para escolha do meio de transporte a utilizar em deslocações de maior distância é uma parte importante deste estudo, pois interessa perceber se a pegada ecológica é um elemento que tem influência sobre a forma como uma pessoa se desloca ou se existem outros critérios que predominam na sua escolha. Neste grupo de afirmações, verifica-se um equilíbrio na distribuição das respostas, uma vez que a opção “às vezes” predomina em todas as questões. Como se comprova na Figura 4.4, grande parte dos inquiridos exprimiou preocupação com as emissões associadas às suas deslocações, no entanto a Figura 4.5 evidencia que esta não é uma prioridade para as pessoas. Apenas uma pequena percentagem afirma ter “sempre” em conta a pegada ecológica associada às suas deslocações quando escolhe o seu modo de transporte (pouco mais de 6%), optando por transportes ambientalmente eficientes sempre que possível (cerca de 9%). Ainda que mais de 45% das pessoas afirmem sentir “sempre” ou “quase sempre” que as suas escolhas podem fazer a

diferença, é notória uma redução da quantidade de respostas positivas (para 27,5%) quando trata de influenciar os outros a optar por formas de deslocação mais sustentáveis.

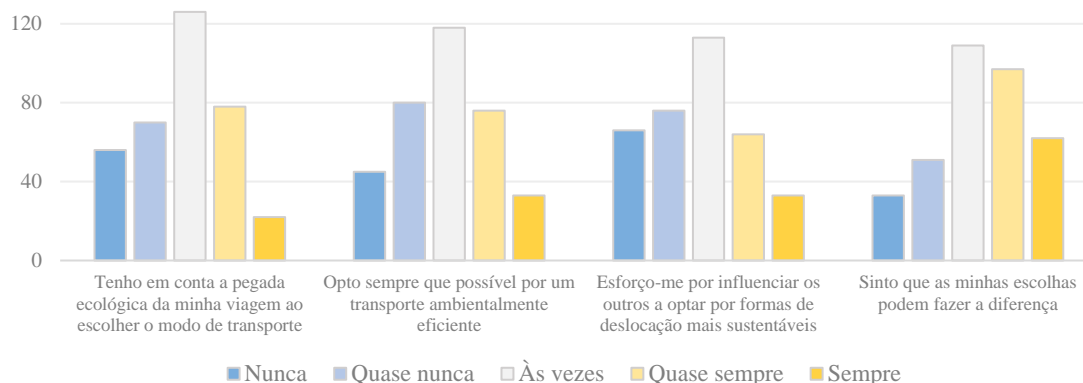


Figura 4.5. Peso dos impactes ambientais na escolha do meio de deslocação.

Avaliação dos fatores de peso, considerando a mesma origem-destino

A parte final do inquérito é referente aos percursos para os quais se pretende explorar a possibilidade do desenvolvimento de uma linha de alta velocidade ferroviária. Para tal, importa identificar quais os aspetos mais valorizados pelos passageiros, aferindo a sua recetividade à opção pelo comboio em alternativa ao avião. Os eixos seleccionados abrangem os maiores corredores nacionais (Lisboa-Porto e Lisboa-Faro) e transfronteiriços (Lisboa-Madrid, Lisboa-Barcelona e Porto-Vigo), que correspondem a eixos com grandes volumes de passageiros e, como tal, grande potencialidade para o desenvolvimento de novas ligações ferroviárias. Relativamente a cada um destes eixos, no sentido de compreender as prioridades dos passageiros quando viajam de avião e de comboio, foi facultada informação relevante de forma a auxiliar na escolha dos parâmetros que consideram mais prioritários, tais como: se a ligação tem carácter direto; qual o tempo total da viagem (considerando o *check-in/embarque*); qual o preço dos bilhetes; e o tipo de combustível utilizado.

O eixo entre Lisboa e Porto corresponde à ligação de cerca de 300 km entre as duas maiores cidades nacionais, representado um elevado fluxo de passageiros. Atendendo às condições atuais para ambos os meios de transporte, com ligações diretas e quantidade de oferta semelhante, os resultados demonstram (Figura 4.6) que, para o percurso, 63% dos inquiridos

consideram o avião como mais benéfico no “tempo total da viagem” (2 horas e 30 minutos, considerando inclusive o tempo mínimo recomendado de *check-in*) e 38,4% o “conforto”, comparativamente ao comboio. No caso de uma viagem direta de comboio em Alfa Pendular, a grande maioria das pessoas (82,4%) selecionou o “preço” (mínimo de 19,50 euros), verificando-se que o custo da viagem tem preponderância sobre as restantes, e cerca de 68% destas as “emissões” (viagem a tração elétrica) como as principais vantagens face ao avião.

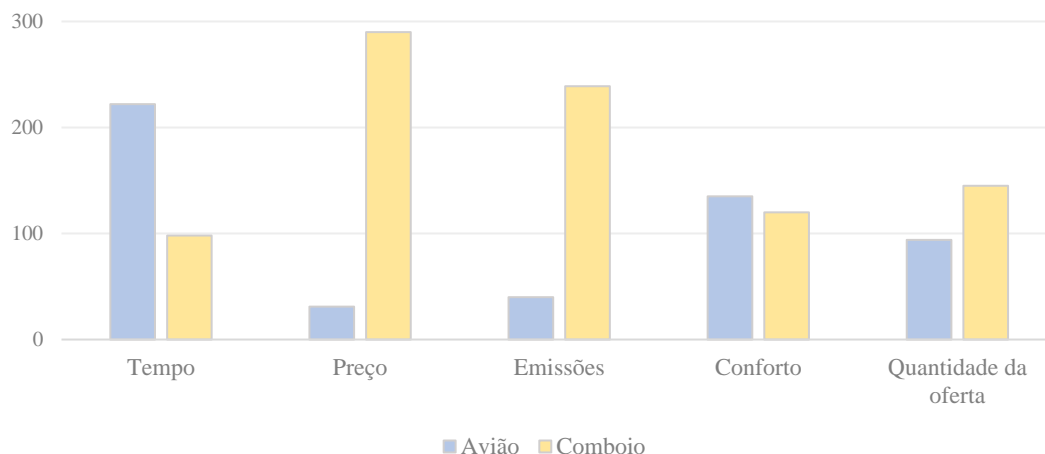


Figura 4.6. Avaliação dos critérios prioritários para uma viagem de avião e de comboio, entre Lisboa e Porto.

Relativamente às ligações transfronteiriças existentes, a ausência de uma ligação direta de comboio no eixo de cerca de 630 km entre Lisboa e Madrid, sendo necessário, no mínimo, 2 transbordos, reflete-se num tempo de viagem de cerca de 8 horas e 48 minutos, sendo esta muito superior à viagem de avião. Apesar do preço mais barato do bilhete ser ligeiramente mais reduzido, cerca de 3 euros mais barato quando comparado com o preço do bilhete de avião, faz com que além das vantagens ao nível das emissões associadas ao comboio, mesmo considerando que parte da viagem é efetuada por tração elétrica e outra parte a bordo de um comboio movido a diesel, não sejam associadas mais nenhuma vantagem a uma viagem realizada por este meio de transporte (Figura 4.7). Por outro lado, o carácter direto de uma viagem de avião realizada num tempo de viagem de 2 horas e 50 minutos (já considerando o tempo de *check-in* no aeroporto), leva a que 89,2% dos inquiridos considerem esta a principal vantagem selecionada para o avião. De resto, também o conforto, a quantidade da oferta e o preço são vantagens associadas ao avião.

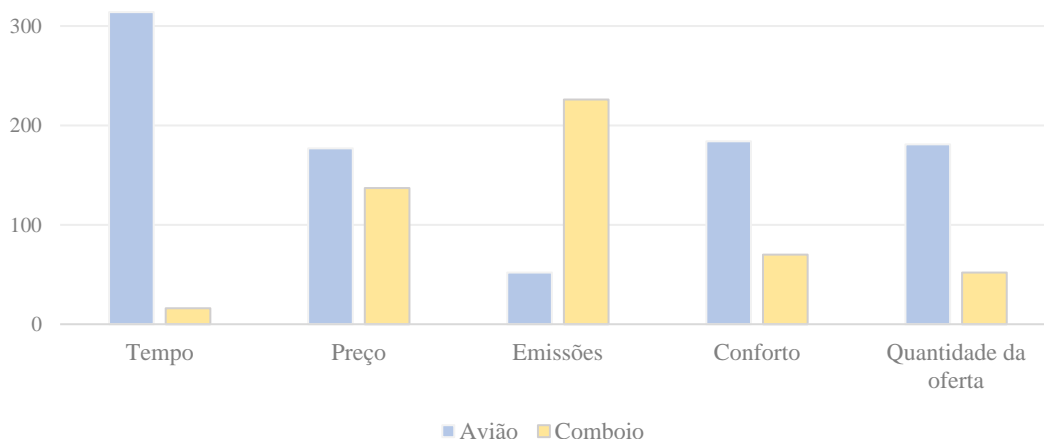


Figura 4.7. Avaliação dos critérios prioritários para uma viagem de avião e de comboio, entre Lisboa e Madrid.

Atualmente, uma viagem de comboio entre Lisboa e Barcelona coincide com trajeto mencionado entre Lisboa e Madrid, acrescido de um transbordo em Madrid onde existe uma ligação em AV rumo a Barcelona, aumentado assim o mínimo de transbordos para 3, ou seja, 4 comboios). A duração total da viagem de comboio ascende a 13 horas e 30 minutos, face às 3 horas e 20 minutos (1 hora e 50 minutos de voo + o tempo mínimo de *check-in*) que demora a efetuar o percurso de forma direta por avião. O transbordo complementar em Madrid para prosseguir até Barcelona contribui para agravar o custo total da viagem (preço mínimo de 70,7 euros). Os inquéritos (Figura 4.8) demonstram que, comparativamente com o percurso Lisboa-Madrid, se verificou um aumento em quase 20% do número de pessoas que selecionaram o “preço” como uma vantagem associada ao transporte aéreo, enquanto as restantes vantagens associadas a ambos os transportes se mantiveram semelhantes.

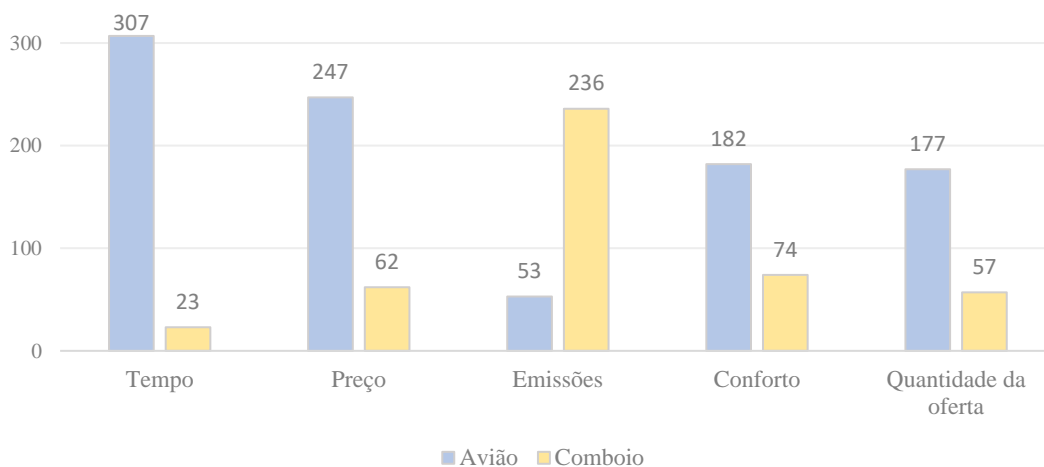


Figura 4.8. Avaliação dos critérios prioritários para uma viagem de avião e de comboio, entre Lisboa e Barcelona.

Considerando outro eixo com elevada procura, sobretudo nos meses de verão, as cidades de Lisboa e Faro distam entre si menos de 300 km e são servidas por ligações diretas diárias, tanto por via aérea como ferroviária. Verificou-se que a viagem de comboio pode ser realizada em comboio Alfa Pendular totalmente elétrico em 3 horas por um preço de 23,50 euros, enquanto por via aérea pode ser feita em 2 horas e 15 minutos (45 minutos de voo + tempo mínimo de *check-in*) por 42 euros. Os resultados (Figura 4.9) demonstram que o “tempo de viagem” se continua a ser, para 69% dos inquiridos, a principal vantagem associada ao avião, com o conforto a apresentar um resultado ligeiramente superior ao do comboio. Neste eixo, o “custo” da viagem reúne consenso como a principal vantagem associada ao comboio, uma vez que cerca de 80% das pessoas o associam como uma vantagem, no qual as emissões e a quantidade da oferta também são superiores relativamente ao avião.

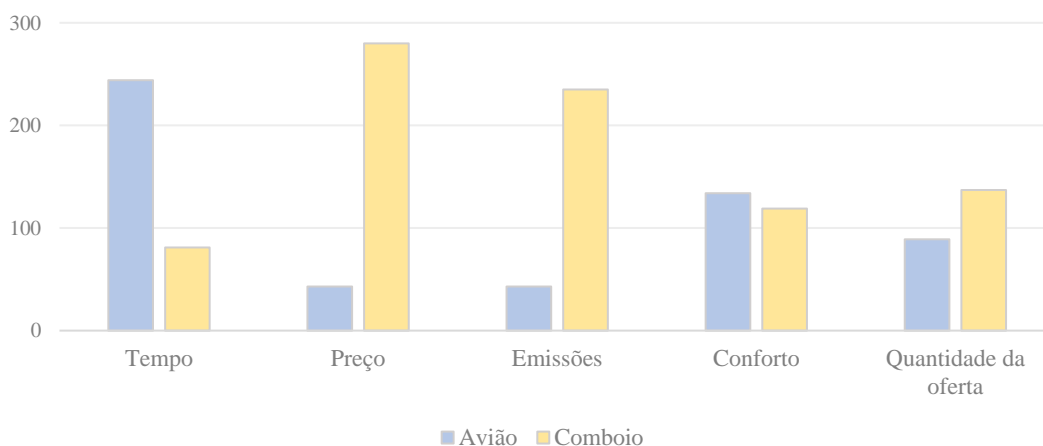


Figura 4.9. Avaliação dos critérios prioritários para uma viagem de avião e de comboio, entre Lisboa e Faro.

Considerando os eixos estudados, as cidades de Porto e Vigo são as mais próximas entre si, separadas por apenas 145 km. Deste modo, não existe atualmente qualquer ligação aérea direta entre as duas cidades, sendo que para realizar a viagem de avião será necessário efetuar uma escala em Madrid, fazendo com que o tempo de viagem seja no mínimo de 4 horas e 55 minutos, considerando o tempo de *check-in* no aeroporto, com um custo superior a 100 euros. Nesse sentido, os inquiridos apenas associam o conforto como uma vantagem associada ao avião (Figura 4.10). Considerando que o comboio oferece uma opção direta em 2 horas e 22 minutos, por 5,25 euros, destaca-se o “preço da viagem” como a principal vantagem escolhida pelos inquiridos (79%) quando se considera este trajeto. De resto, as emissões e o tempo de viagem também se destacam como uma mais-valia em relação ao avião.

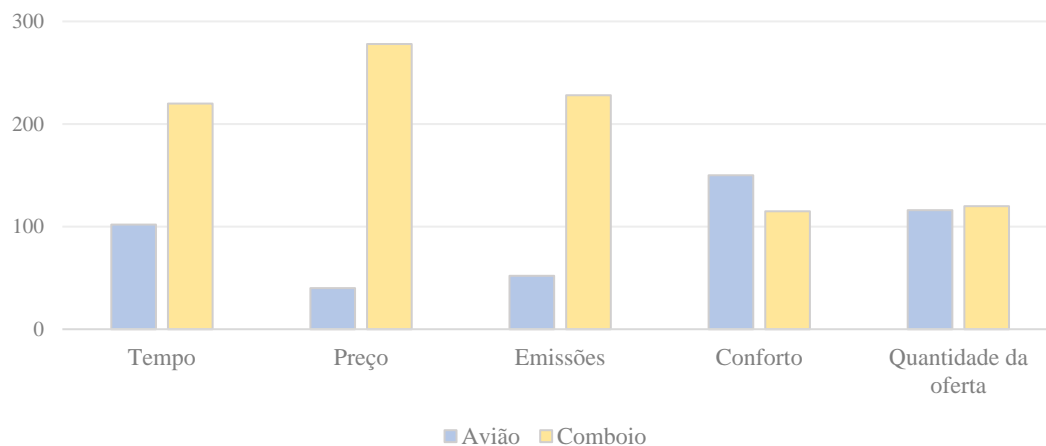


Figura 4.10. Avaliação dos critérios prioritários para uma viagem de avião e de comboio, entre Porto e Vigo.

Por fim, importa verificar como as pessoas se sentem relativamente às condições atuais da ferrovia e como encaram a aposta na futura LAV nos percursos considerados neste estudo. Procurou-se assim perceber como as pessoas encaram a atual ligação ferroviária entre as duas capitais ibéricas (Figura 4.11), concluindo-se que as pessoas não consideram o comboio uma alternativa credível ao avião pelo facto de a viagem envolver 3 comboios, sendo unânime a concordância de que o atual tempo de viagem por via ferroviária justifica a utilização do avião como alternativa. Conclui-se, mais uma vez, que as questões ambientais não são um critério prioritário nas suas escolhas, uma vez que a resposta “Indiferente” é uma constante associada a essas afirmações, nomeadamente se uma viagem com pelo menos um comboio a *diesel* é uma alternativa credível ao avião ou se o comboio apenas é uma alternativa ao avião se for movido a eletricidade.

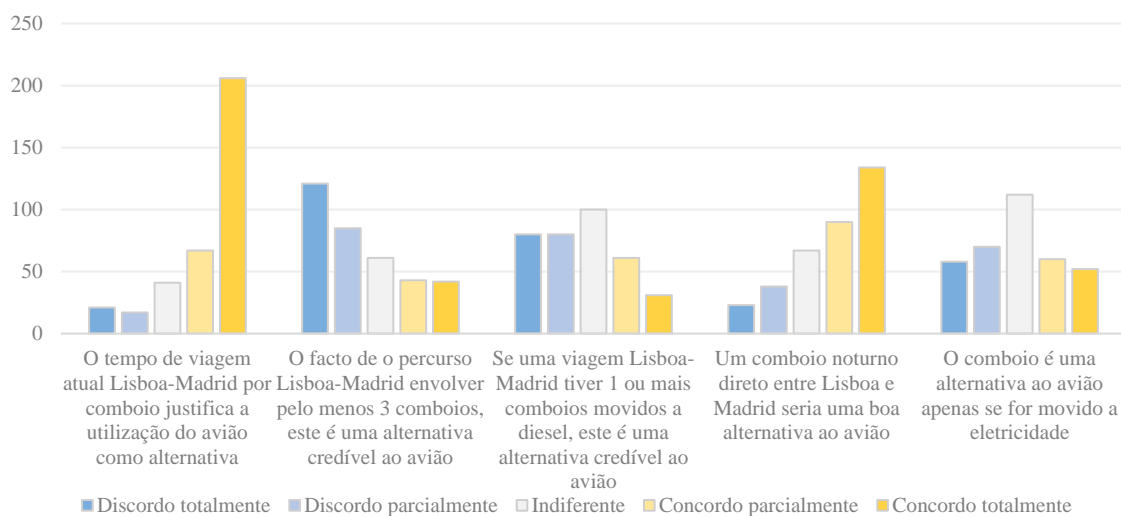


Figura 4.11. Análise de concordância relativamente às condições atuais da ferrovia.

O sucesso da futura linha de alta velocidade ferroviária em Portugal, com um valor de referência verificado anteriormente de 9 milhões de passageiros por ano para que seja bem-sucedida, deverá depender da adesão massiva dos passageiros que utilizam a ferrovia convencional e a capacidade de captação a outros modos (sobretudo carro, autocarro e avião). Evidenciou-se (Figura 4.12) que a maioria dos inquiridos considera a AVF como uma boa alternativa ao avião e que as ligações transfronteiriças contribuiriam para aproximar Portugal dos restantes países europeus. A maior parte das pessoas considera que as viagens domésticas de avião não se justificam sempre que exista uma alternativa de AVF, porém quando se equacionam as viagens transfronteiriças, as respostas não são tão unânimes, com um número semelhante de respostas entre “indiferente”, “concordo parcialmente e “concordo totalmente”. Atendendo ao peso que o preço do bilhete poderá ter escolha na escolha do comboio em detrimento do avião. Verifica-se, pela quantidade de repostas positivas à questão “Apenas irei considerar o comboio de Alta Velocidade se o preço do bilhete for inferior ao do avião”, que as pessoas apenas irão alterar os seus hábitos caso o preço do bilhete de comboio seja igual ao do avião. Assim, considerando o o número mínimo de passageiros para que a linha de alta velocidade seja lucrativa, demonstrou-se que a viabilidade da AVF poderá passar por alterações de políticas que limitem as viagens de avião (p.e. a aplicação de medidas soft como a aplicação de taxas, a limitação do número de voos ou a redução de slots nos aeroportos).

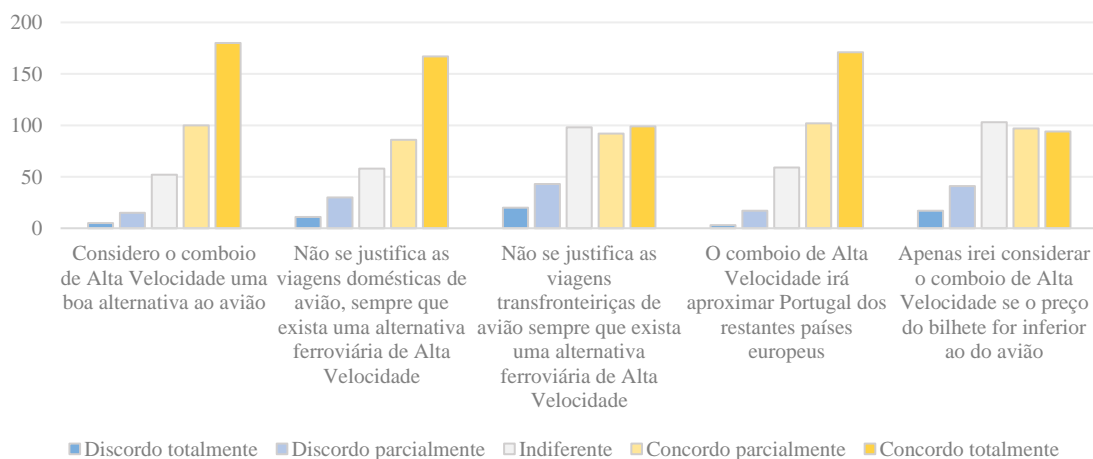


Figura 4.12. Análise de concordância relativamente à futura linha de alta velocidade ferroviária.

4.5. Discussão de resultados

Os resultados obtidos neste estudo demonstram o potencial da ferrovia face ao desenvolvimento de outros modos de transporte. Trata-se de uma opção que oferece uma elevada capacidade de transporte de passageiros, permitindo transportar mais pessoas numa só viagem e com um custo ecológico inferior a qualquer outro modo de transporte. Nas ligações estudadas, as ligações ibéricas são manifestamente insuficientes e as ligações nacionais enfrentam frequentemente limitações de velocidades que impedem a redução dos tempos de percurso.

A contabilização das emissões demonstrou que o comboio é um meio de transporte com menos emissões ao nível de gases com efeito de estufa que o avião. A intensidade energética dos dois modos de transporte está sempre associada à distância, ao tipo de veículo e ao combustível utilizado. Os resultados da contabilização de GEE demonstram que, quando utiliza exclusivamente eletricidade (a energia produzida a partir de energias renováveis é frequentemente incluída na produção), o comboio é 10 a 20 vezes menos poluente que o avião. No entanto, quando se comparam os percursos onde são também utilizados comboios a *diesel*, o comboio continua a ser menos poluente, porém com o dobro da intensidade carbónica do comboio elétrico. As emissões associadas ao comboio aumentam gradualmente com a distância percorrida, enquanto numa viagem aérea, para além da distância percorrida, uma que boa parte das emissões está associada à descolagem e aterragem do veículo. A taxa de ocupação também é um importante indicador da eficiência energética de um modo de transporte, uma vez que quanto menor for a lotação, maior será o impacte da viagem.

A aposta na ferrovia de alta velocidade depende de investimentos consideráveis por parte dos países envolvidos. Em ambos os casos, o financiamento da União Europeia para o setor ferroviário tem-se revelado uma contribuição valiosa, especialmente em Espanha, onde já foram construídos cerca de 3 000 km de linhas de alta velocidade. Em termos de investimentos necessários, o troço de 297 km entre Lisboa e Porto será o mais dispendioso, sendo necessário um investimento de cerca de 5,2 mil milhões de euros. Embora a distância entre Lisboa e Madrid seja duas vezes superior, uma grande parte da LAV já está construída ou em fase de construção em Espanha, restando estimar o investimento necessário em Portugal, em cerca de 5 mil milhões de euros.

Os resultados dos inquéritos revelaram que as pessoas apresentam dois critérios principais para escolher o meio de transporte que pretendem utilizar para se deslocar: o tempo de viagem e o custo do bilhete, sendo o tempo de viagem o fator mais preponderante em comparação aos restantes. Para viagens curtas (até 300 km), o comboio é considerado o meio de transporte com mais vantagens, sendo o preço e as baixas emissões os critérios mais importantes. No entanto, o preço deixa de ser considerado uma vantagem do comboio quando a viagem é superior a 300 km, uma vez que os ganhos em termos de tempo de viagem e de custo passam a ser considerados vantagens do avião.

Assim, as vantagens relacionadas com o comboio são as emissões, o tempo de embarque, a flexibilidade, a capacidade de transporte e o preço do bilhete, quando se consideram distâncias curtas. O transporte aéreo está associado a vantagens como tempo de viagem e o preço do bilhete, sendo que as vantagens deste se vão tornando mais evidentes quando se consideram longas distâncias. A preferência pelo comboio em detrimento do avião é especialmente evidente quando se comparam os tempos de viagem, sobretudo quando se incluem na equação o tempo de embarque e *check-in*, sendo unânime a preferência pelo comboio se o tempo de viagem for semelhante ao do avião.

Apesar de uma grande parte dos inquiridos ter exprimido preocupação com as emissões associadas às suas deslocações, é evidente que as preocupações ambientais não são tão prioritárias na escolha do transporte como o tempo e o custo da viagem. Conclui-se que, apesar de 44% das pessoas concordarem parcialmente que se preocupam com as emissões de GEE associadas às suas deslocações, uma grande parte delas não dá prioridade aos impactes ambientais da sua viagem quando escolhe o seu meio de transporte, não se revelando esta uma prioridade. Quanto ao tempo total de viagem, a AVF é considerada mais vantajosa que o transporte aéreo sempre que o tempo de viagem seja semelhante ou ligeiramente superior (as pessoas não se importam com um tempo de viagem ligeiramente superior se o tempo de embarque ou de *check-in* for reduzido), seguindo-se a importância do preço da viagem.

Considerando os dois meios de transporte, o comboio de alta velocidade é aquele que apresenta o maior número de vantagens associadas, permitindo que seja considerado uma verdadeira alternativa ao avião em viagens de curta e média distância, sobretudo em termos de tempo total da viagem e custos. Nas ligações nacionais o comboio apresenta mais vantagens que o avião, no entanto, nas ligações ibéricas (eixo Lisboa-Madrid-Barcelona) as pessoas não

consideram o comboio uma alternativa e, pelo facto de implicar vários transbordos e tempos de viagem longos, consideram que se justifica a utilização do avião.

Os principais desafios associados à implementação da AVF nos percursos em análise (Quadro 4.6) estão sobretudo relacionados com questões económicas, incluindo o elevado investimento de construção e os custos de manutenção e do material circulante, os riscos relacionados com a falta de capacidade para competir com as operadoras de companhias aéreas de baixo custo e os relacionados com a baixa procura, que podem estar diretamente associados ao tipo de preços praticados. As tarifas praticadas neste modo de transporte são suscetíveis de influenciar a procura, podendo funcionar tanto como fator de atração como de distanciamento.

Quadro 4.6. Desafios associados à implementação da AVF nos casos de estudo.

<i>Desafios</i>	
Financiamento	- Investimentos necessários para construção e manutenção mais elevados relativamente às linhas convencionais.
Tarifários	- As tarifas associadas aos comboios de AV são geralmente mais elevadas que a um comboio tradicional e, potencialmente, que as <i>low cost</i> aéreas.
Atratividade	- Passageiros: o sucesso da LAV depende da capacidade para captar uma quantidade suficiente de passageiros de forma a ser lucrativo; - Operadoras: taxas de uso elevadas poderão afastar potenciais operadoras.
Assimetrias	- A cobertura projetada para LAV prioritárias favorecem o corredor atlântico, mantendo as assimetrias territoriais litoral/interior. A exceção é o eixo Lisboa-Madrid-Barcelona.
Energia	- Um comboio de alta velocidade tem uma necessidade energética mais elevada que um comboio convencional.

Outro aspeto a salientar são os benefícios identificados neste estudo à implementação da AVF, destacando-se como principal benefício os ganhos em tempo de viagem. Os ganhos económicos, provenientes de rendimentos como receita ou taxas de exploração, as melhorias na acessibilidade, os benefícios ambientais e os ganhos na conectividade entre cidades portuguesas e espanholas com elevada densidade populacional, que poderão influenciar o nível de procura, são inclusive benefícios identificados (Quadro 4.7).

Quadro 4.7. Benefícios associados à implementação da AVF nos casos de estudo.

<i>Benefícios</i>	
Redução dos tempos de percurso	- Ganhos de tempo para os passageiros.
Económicos	- Possibilidade de elevados ganhos com receita, com adesão em massa; - Possibilidade de liberalização do mercado, permitindo a entrada a diversos operadores que irão pagar uma taxa de utilização.
Acessibilidade	- Melhoria da acessibilidade das estações atuais e ligações da linha de AV com a linha convencional; - Melhoria da oferta ferroviária; - Eliminação de constrangimentos na fronteira (eixo Lisboa-Madrid-Barcelona); - Redução de congestionamentos face ao automóvel e alívio dos constrangimentos das linhas convencionais (reforço da oferta regional/intercidades e liberta espaço para o transporte de mercadorias).
Ambientalmente mais eficiente	- Alternativa ambientalmente mais sustentável (sobretudo às pontes aéreas e ao transporte individual); - Ao atrair passageiros de outros transportes carbonizados, permite reduzir as emissões de CO ₂ do setor; - Possibilidade de recorrer a energia com origem de fontes renováveis.
Capacidade de transporte	- Possibilita o transporte massivo de passageiros.
Conectividade	- Permite ligar as maiores cidades do eixo litoral (Lisboa-Porto): Lisboa, Leiria, Coimbra, Aveiro, Gaia e Porto; - Conecta Lisboa às cidades do litoral alentejano: Évora (eixo Lisboa-Madrid-Barcelona), Beja e Faro (Lisboa-Faro); Possibilidade de ligar as cidades portuguesas; - Conecta o Porto às região da Galiza, abrangendo cidades como Braga, Viana do Castelo, Vigo, Santiago de Compostela e Corunha.
Atratividade	- Desenvolvimento económico das regiões abrangidas; - Benefícios ao nível de coesão territorial; - A AV poderá atrair passageiros de outros modos de transporte.

CAPÍTULO V: CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. Principais conclusões

A definição do tema teve como objetivo promover uma forma de mobilidade nacional e transfronteiriça que garantisse um meio de deslocação sustentável, com tempos de viagem aceitáveis pelos passageiros. Procurou-se compreender se a ferrovia, com investimentos necessários em infraestruturas e material circulante para reduzir os tempos de viagem, tem capacidade para ser alternativa ao transporte aéreo. Foram analisadas as emissões associadas a ambos os modos de transporte e apurados os principais fatores que os passageiros priorizam quando escolhem um meio de transporte para a sua viagem, através de inquéritos.

Em Portugal, os resultados do estudo revelam que o transporte ferroviário está ainda bastante subdesenvolvido em comparação com outros modos de transporte. As ligações analisadas, evidenciam a inexistência de uma ferrovia de alta velocidade em Portugal, o que dificulta a possibilidade de escolha de um transporte mais ecológico e, conseqüentemente, a implementação de políticas ambientais eficientes no setor dos transportes. Os transportes são frequentemente associados a conseqüências negativas, nomeadamente pelos danos que provocam ao da saúde humana, acidentes ou constrangimentos de tráfego e no ambiente, devido às substâncias nocivas que as suas emissões provocam. A transição ecológica deverá ser a chave para o desenvolvimento da ferrovia de alta velocidade.

Numa sociedade global como a que vivemos atualmente, a mobilidade conduziu a um aumento generalizado do número de viagens, tanto domésticas como internacionais, sendo essencial encontrar formas de reduzir a pressão constante do setor sobre o ambiente. Adaptar os transportes para os tornar mais ecológicos e mais eficientes em termos energéticos, de modo a se manter a acessibilidade, reduzir distâncias e contribuir para o desenvolvimento económico e territorial é essencial para que o setor seja reconhecido pelos seus contributos e não pelos seus constrangimentos. A análise da literatura mostra que os transportes rodoviário e aéreo são os que têm associadas mais emissões de gases com efeito de estufa por passageiro. Neste contexto, o comboio é o modo de transporte que menos contribui para o aumento destas emissões e o que pode contribuir de uma forma imediata para uma redução drástica da utilização de combustíveis fósseis, uma vez que é uma alternativa que permite transportar um grande número de

passageiros a um custo ambiental muito baixo. Na aviação, os constrangimentos são frequentemente referidos em relação ao uso excessivo de energia, que tem vindo a aumentar nas últimas décadas. A inexistência de alternativas ambientalmente válidas torna urgente alterar a forma como a energia é consumida na aviação, seja pelo investimento em alternativas mais ecológicas, como as energias renováveis e os biocombustíveis, ou pela redução da quantidade de voos.

Este estudo releva que a ferrovia de alta velocidade tem potencial para se tornar o principal modo de transporte para curtas e médias distâncias. Ainda assim, apurou-se que as ligações aéreas entre Portugal e Espanha representaram cerca de 2 milhões de passageiros (2021) e por comboio apenas 230 mil passageiros, enquanto a quantidade de passageiros que utilizaram os serviços de longo curso ferroviário em 2019 foi de 6,4 milhões de passageiros. Os resultados dos inquéritos permitem concluir que o preço do bilhete é um critério importante para a escolha do modo de transporte, podendo a capacidade da LAV em cativar passageiros ao transporte aéreo estar dependente dos preços praticados. Com base nos dados recolhidos, será difícil atingir o valor referência de 9 milhões de passageiros por ano para que uma LAV seja rentável, especialmente quando comparado com a ligação Madrid-Barcelona, que regista entre 4 a 6 milhões de passageiros (10 milhões considerando paragens intermédias). No entanto, o número de potenciais passageiros poderá ser mais elevado caso sejam implementadas em Portugal e Espanha políticas pró-clima, como as que foram implementadas em França em 2023, de proibir voos domésticos de curta duração quando existe uma alternativa ferroviária no mesmo percurso.

Verificou-se que um avião polui cerca de 10 a 20 vezes mais do que um comboio elétrico, sendo que estas variações dependem principalmente do tipo de veículo, da fonte de energia e da ocupação do veículo. Em comparação com os dados médios da Agência Europeia do Ambiente (Figura 2.6), os resultados da contabilização das emissões obtidos nos percursos específicos (Quadro 4.2) mostram que o transporte aéreo de curta distância apresenta valores inferiores à média europeia e, no caso do comboio, os valores superiores à média são influenciados pela maior distância percorrida e pela utilização de pelo menos um comboio que utiliza *diesel* como tipo de energia.

A eliminação dos voos nacionais ou transfronteiriços quando existe uma alternativa ferroviária de tempo/custo semelhante deve ser considerada uma prioridade para alcançar os

objetivos ambientais baseados no Pacto Ecológico Europeu e que ambos os países subscreveram. No entanto, as metas para atingir alguns destes objetivos relacionados com os transportes até 2030 são ambiciosas, tendo em conta os atrasos ao nível de investimentos. Em Portugal, a construção da primeira LAV foi sucessivamente adiada e atualmente está previsto que seja terminada até 2030 e para Lisboa-Madrid, este investimento só será uma realidade depois de 2030. Estes investimentos tardios na ferrovia em Portugal impossibilitam a redução de tempos de viagem e a competitividade da ferrovia face à aviação.

Os resultados dos inquéritos demonstraram que o tempo de viagem e o custo associado ao preço dos bilhetes são os principais critérios dos passageiros para a escolha do modo de transporte. Verificou-se que o comboio gera a preferência das pessoas sobretudo nas ligações entre o Porto e Vigo devido à ausência de rotas aéreas, mas também nos eixos Lisboa-Porto e Lisboa-Faro. Já as ligações mais longas em estudo, entre Lisboa e Madrid ou Barcelona, as pessoas não consideram que apenas as reduzidas emissões são uma vantagem associada ao comboio.

Após a análise dos resultados constatou-se que, para as viagens curtas (inferiores a 300 km), os inquiridos consideram o comboio mais vantajoso, sobretudo em relação ao tempo de viagem, custo e emissões, dado que consideram que o tempo mínimo de antecedência no aeroporto antes de embarcar não é vantajoso relativamente ao tempo total da viagem de comboio. Quando se consideram viagens longas (eixo Lisboa-Madrid-Barcelona), os benefícios que estavam associados ao comboio, passaram a estar associados ao avião (tempo, custo, conforto, quantidade de oferta), com exceção das emissões. Os resultados evidenciam que a maioria dos inquiridos considera que utilizaria a AVF como alternativa às viagens aéreas, se o tempo e os custos da viagem fossem semelhantes, não se apondo a que exista um maior número de transbordos. Parte importante deste estudo é perceber se as pessoas têm preocupações ecológicas associadas às suas deslocações, sendo que uma boa grande parte dos inquiridos exprimiu preocupação acerca das suas emissões, mas apenas uma pequena parte as tem em conta ao escolher o seu modo de transporte.

Os principais desafios identificados na construção de uma LAV são os elevados custos associados e o risco de não ser economicamente rentável. Neste estudo, considerou-se que a AVF só será benéfica em percursos superiores a 300 km de distância. Em algumas situações analisadas, como é o caso do eixo Porto-Vigo, não se considera necessária a construção de uma

nova LAV, uma vez que a modernização da atual linha para velocidades próximas dos 250 km/h será suficiente para reduzir os tempos de viagem atuais e oferecer uma alternativa ao seu principal concorrente, o automóvel. A construção da AV poderá ser benéfica caso sejam abrangidas as cidades do eixo Atlântico, entre o Algarve e a Corunha, implementando a AV num eixo mais abrangente. Nos eixos mais movimentados, nomeadamente entre Lisboa e Porto, Madrid e Barcelona, a construção de novas LAV é considerada benéfica em função da redução dos tempos de viagem e implementação de uma alternativa com um custo semelhante e mais ecológica que uma viagem de avião.

Uma solução identificada para recuperar parte do investimento realizado nas LAV deverá passar pela liberalização das linhas, como já acontece noutros países europeus. Esta proposta de liberalização deverá significar a abertura da LAV para concessão a mais de uma empresa exploradora, podendo até atrair operadores de baixo custo, como já acontece em Espanha ou França. Esta opção permitiria a aplicação de taxas de exploração a mais do que uma empresa ferroviária, beneficiando destes lucros para manutenção e retorno dos investimentos. O preço dos bilhetes pode constituir um obstáculo à atratividade destas linhas, uma vez que sem passageiros estas não são rentáveis. Implementar um modelo semelhante ao que já existe em países como Espanha, França ou Itália para concorrer com as companhias aéreas de baixo custo, a entrada de companhias ferroviárias *Low Cost* no mercado liberalizado poderia ser uma solução eficaz para baixar tarifas a preços reduzidos, considerando o poder de compra dos portugueses. Outra solução poderá passar pela regulação dos preços por parte do gestor da infraestrutura, impedindo que as empresas ferroviárias pratiquem tarifas desajustadas à realidade do país.

Há que considerar que o número de passageiros-quilómetro que uma LAV em Portugal irá gerar será inferior à que se verifica em Espanha ou França, no entanto insere-se um projeto de interesse nacional, em que a redução de assimetrias, o desenvolvimento territorial, estratégico e económico e os compromissos ambientais deverão representar um interesse superior ao retorno económico. A realizar-se estes investimentos, os utilizadores tanto dos transportes públicos como dos individuais, terão a possibilidade de uma escolha consciente, optando por um meio de transporte ambientalmente mais eficiente. Deverá inclusivamente permitir a implementação de políticas climáticas, como a extinção de voos domésticos de curta duração sempre que exista uma alternativa ferroviária com tempo de viagem semelhante.

Por último, a construção dos troços de AV estudados irá libertar a rede convencional, que se encontra congestionada em alguns troços, para outro tipo de serviços como o transporte regional e o transporte de mercadorias, permitindo mesmo a sua integração numa rede europeia sem descontinuidades, possibilitando a ligação ferroviária de Lisboa, Porto ou Faro a outras cidades europeias. Deverá também ser vantajosa a utilização de um meio de transporte como o comboio que, utilizando apenas energia elétrica e se esta for 100% proveniente de fontes renováveis, permite a redução do consumo de combustíveis fósseis nos transportes e a utilização em massa de um meio de transporte com zero emissões. A utilização de combustíveis fósseis, sobretudo pela aviação e transportes rodoviários, implica uma dependência externa de outros países produtores e está sujeita à volatilidade dos preços. Estes benefícios económicos são indiretos, mas podem representar uma possível redução direta dos preços dos bilhetes para os passageiros e proporcionar um meio de transporte atrativo em comparação com outros meios de transporte.

5.2. Trabalhos futuros

O presente estudo foi realizado numa linha de abordagem focada no comboio de alta velocidade enquanto alternativa ao avião tradicional, que utiliza combustíveis fósseis como modo de energia. No entanto, seria interessante realizar uma análise comparativa, considerando a utilização de combustíveis alternativos e ambientalmente sustentáveis na aviação, em comparação com viagens efetuada em comboios de alta velocidade, que também apresenta emissões diretas a ter em conta.

Os investimentos elevados nas LAV, aliados aos custos com exploração, levam a que o preço dos bilhetes para viajar de comboio sejam frequentemente superiores ao preço dos bilhetes de avião. A realização de uma análise de sensibilidade seria interessante, de forma a analisar de que forma a aplicação de taxas sobre os combustíveis fósseis se iriam refletir sobre o preço dos bilhetes de avião, averiguando se iria permitir alterar o critério de escolha da sociedade na escolha do modo de transporte.

Verifica-se que existem LAV construídas noutros países europeus que permitiram libertaram a rede ferroviária geral para outro tipo de serviços, nomeadamente o transporte de mercadorias. Em Portugal, devido à sua posição ocidental na europa, a libertação da rede

convencional de serviços como Alfa Pendular, poderá permitir uma utilização mais intensiva do transporte ferroviário de mercadorias. Esta potencialidade poderá ser atingida com os navios que utilizam o Mediterrâneo a utilizar os portos para transferir as mercadorias para o caminho de ferro, permitindo uma redução das emissões associadas ao transporte marítimo no Mar Mediterrâneo.

Referências

- Agência Europeia do Ambiente. (2016). *Transitions towards a more sustainable mobility system. TERM 2016: Transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe.*
- Agência Europeia do Ambiente. (2017). *Aviation and shipping — impacts on Europe’s environment. TERM 2017: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report. EEA Report No 22/2017.*
- Agência Europeia do Ambiente. (2021). *Transport and environment report 2020: Train or plane? 112.*
- Agência Europeia do Ambiente. (2022a). *Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2020 and inventory report 2022. EEA/PUBL/2022/023.*
- Agência Europeia do Ambiente. (2022b). *Transport and environment report 2021. Decarbonising road transport - the role of vehicles, fuels and transport demand.* <https://doi.org/10.2800/68902>
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2022). *Portuguese National Inventory Report on Greenhouse Gases, 1990 - 2020. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol.* <http://www.apambiente.pt>
- Albalate, D., & Bel, G. (2015). La experiencia internacional en alta velocidad ferroviaria. *Documento de Trabajo Fedea 2015–02.*, 80.
- Albalate, D., & Fageda, X. (2016). High speed rail and tourism: Empirical evidence from Spain. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 85, 174–185. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.01.009>
- Autoridade da Mobilidade e dos Transportes (AMT). (2021). *Ecossistema Ferroviário Português, 2019.* www.amt-autoridade.pt

- Clora, F., & Yu, W. (2022). GHG emissions, trade balance, and carbon leakage: Insights from modeling thirty-one European decarbonization pathways towards 2050. *Energy Economics*, 113. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106240>
- Comissão Europeia. (2011). *Livro branco. Roteiro do espaço único europeu dos transportes – Rumo a um sistema de transportes competitivo e económico em recursos.*
- Comissão Europeia. (2012). *MOVING PEOPLE: TOWARDS SUSTAINABLE MOBILITY IN EUROPEAN METROPOLITAN REGIONS.*
- Comissão Europeia. (2016). *A European Strategy for Low-Emission Mobility.*
- Comissão Europeia. (2019). *Pacto Ecológico Europeu.* <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>.
- Comissão Europeia. (2020a). *Estratégia de mobilidade sustentável e inteligente – pôr os transportes europeus na senda do futuro.*
- Comissão Europeia. (2020b). *Sustainable and Smart Mobility Strategy - putting European transport on track for the future.*
- Comissão Europeia. (2021). *Comissão Europeia-Perguntas e respostas: Revisão do Regulamento RTE-T.*
- CP - Comboios de Portugal. (2020). *Relatório de Sustentabilidade 2020 | CP.*
- Cruz, C. Oliveira, C. Álvaro, S. J. Miranda, S. V. Faria, J. J. Fragoso. (2021). *Sistemas de Transportes em Portugal: Análise de Eficiência e Impacto Regional.* Fundação Francisco Manuel dos Santos – Resumos da fundação,.
- De Rus, G. (2012). *Economic Evaluation of the High Speed Rail.* <https://www.researchgate.net/publication/259558449>
- Eurostat - União Europeia. (2020). *Energy, transport and environment statistics - 2020 edition.* <https://doi.org/10.2785/463410>
- Furtado, F. (2020). *A Ferrovia em Portugal: Passado, Presente e Futuro* (A. Araújo, Ed.; 1st ed.). Fundação Francisco Manuel dos Santos, Ensaios da Fundação.

- Gabinete de Estratégia e Estudos/ Ministério da Economia e Transição Digital (Portugal), & Secretaria General de Transporte/ Ministério de Fomento (Espanha). (2019). *Observatório Transfronteiriço Espanha-Portugal (OTEP): 9º Relatório*.
- García-Olivares, A., Solé, J., Samsó, R., & Ballabrera-Poy, J. (2020). Sustainable European transport system in a 100% renewable economy. *Sustainability (Switzerland)*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/su12125091>
- He, Z., Wang, G., Chen, H., & Yan, H. (2022). Is Resilient Transportation Infrastructure Low-Carbon? Evidence from High-Speed Railway Projects in China. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/3138413>
- Instituto Nacional de Estatística. (2021). *Estatísticas dos Transportes e Comunicações - 2020*.
- Instituto Nacional de Estatística. (2022). *Estatísticas dos Transportes e Comunicações - 2021*.
- International Energy Agency (IEA). (2022). *World Energy Outlook 2022*. www.iea.org/t&c/
- IP - Infraestruturas de Portugal. (2021). *Diretório da Rede 2022*.
- IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844. In *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.001>
- Kamb, A., Lundberg, E., Larsson, J., & Nilsson, J. (2021). Potentials for reducing climate impact from tourism transport behavior. *Journal of Sustainable Tourism*, 29(8), 1365–1382. <https://doi.org/10.1080/09669582.2020.1855436>
- Kharlamova, T., Desfontaines, L., Barykin, S., & Gavrilova, R. (2022). Prospects for the development of transport infrastructure to ensure sustainable development. *Transportation Research Procedia*, 63, 789–797. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.075>

- Knörr, W., & Hüttermann, R. (2016). *EcoPassenger – Environmental Methodology and Data Update 2016*.
- Lawrence, M., & Bullock, R. (2022). *The Role of Rail in Decarbonizing Transport in Developing Countries*. www.worldbank.org
- Ludin, D., Wellbrock, W., Müller, E., Gerstlberger, W., Kljevkovic, K., & Michel, D. (2021). The Necessity of Domestic Flights at Business Trips — A Theoretical and Empirical Study Under the Aspect of Climate-Friendly Alternatives. *Journal of Strategic Innovation and Sustainability*, 16(3), 39.
- Ministério dos Negócios Estrangeiros. (2017). *Relatório nacional sobre a implementação da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*.
- Nações Unidas. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*.
- Nações Unidas. (1997). *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*.
- Nações Unidas. (2015). *ADOPTION OF THE PARIS AGREEMENT*.
- Noussan, M., Campisi, E., & Jarre, M. (2022). Carbon Intensity of Passenger Transport Modes: A Review of Emission Factors, Their Variability and the Main Drivers. *Sustainability (Switzerland)*, 14(17). <https://doi.org/10.3390/su141710652>
- Parlamento Europeu. (2022). *Plano de ação para impulsionar o transporte ferroviário de passageiros transfronteiriço e de longo curso*. https://www.eca.europa.eu/lists/ecadocuments/ap19_07/ap_urban_mobility_en.pdf
- Ram, M., Bogdanov, D., Aghahosseini, A., Gulagi, A., Oyewo, A. S., Child, M., Caldera, U., Sadovskaia, K., Farfan, J., Barbosa, L., Fasihi, M., Khalili, S., Fell, H.-J., & Breyer, C. (2018). Global Energy System based on 100% Renewable Energy – Energy Transition in Europe Across Power, Heat, Transport and Desalination Sectors. In *Technology Research Reports* (Vol. 89).

- Repolho, H. M., Pais Antunes, A., & Churcho, R. L. (2012). Modelo de localização ótima de estações ferroviárias: A futura linha de alta velocidade Lisboa-Porto. *TRANSPORTES*, 20(3), 8. <https://doi.org/10.4237/transportes.v20i3.555>
- República Portuguesa. (2019). *ROTEIRO PARA A NEUTRALIDADE CARBÓNICA 2050 (RNC2050)*.
- República Portuguesa - Ministério das Infraestruturas e Habitação. (2022). *Plano Ferroviário Nacional*.
- Taylor, E., Martin, B., Latiers, M., Cornet, M., & Pestiaux, J. (2019). *EU Calculator: trade-offs and pathways towards sustainable and low-carbon European Societies - EUCalc*.
- Tribunal de Contas Europeu. (2023). *Apoio da UE aos biocombustíveis sustentáveis nos transportes – Um caminho pouco claro a seguir*.

Anexos

Quadro A2.1. Aeroportos europeus com maior número de passageiros recebidos em 2022, entre viagens nacionais e internacionais. Dados: Eurostat, 2023.

<i>Países</i>	<i>Passageiros transportados por via aérea em 2022</i>		
	Viagens nacionais	Viagens internacionais	Total
Charles de Gaulle – Paris (FR)	6 938 148	50 523 278	57 461 426
Adolfo Suárez Madrid-Barajas (ES)	14 217 808	35 607 650	49 825 458
Frankfurt/Main (DE)	4 021 120	44 771 199	48 792 319
Amsterdam/Schiphol (NL)	3 294	48 365 608	48 368 902
El Prat – Barcelona (ES)	12 051 824	29 189 193	41 241 017
München (DE)	4 788 734	26 824 536	31 613 270
Orly – Paris (FR)	10 024 959	19 159 733	29 184 692
Humberto Delgado – Lisboa (PT)	3 450 579	24 796 222	28 246 801
Palma de Mallorca (ES)	7 852 966	20 690 901	28 543 867
Roma/Fiumicino (IT)	5 860 531	18 588 266	24 448 797
Wien-Schwechat (AT)	220 728	23 567 660	23 788 388
Oslo/Gardermoen (NO)	9 957 161	12 430 006	22 387 167
Dublin (IE)	89 995	20 617 024	20 707 019
Berlin-Brandenburg (DE)	2 534 663	17 294 984	19 829 647
Brussels (BE)	1 569	17 270 498	17 272 067

Quadro A2.2. Principais aeroportos portugueses, por quantidade de passageiros transportados em 2022. Dados: Eurostat, 2023.

<i>Aeroportos Portugueses</i>	<i>Passageiros transportados por via aérea em 2022</i>		
	Viagens nacionais	Viagens internacionais	Total
Humberto Delgado – Lisboa	3 450 579	24 796 222	28 246 801
Francisco Sá Carneiro – Porto	1 757 146	10 814 693	12 571 839
Aeroporto Gago Coutinho – Faro	446 707	7 695 074	8 141 781
Aeroporto da Madeira Cristiano Ronaldo – Funchal	1 848 678	2 020 763	3 869 441
Aeroporto João Paulo II – Ponta Delgada	1 707 136	343 452	2 050 588

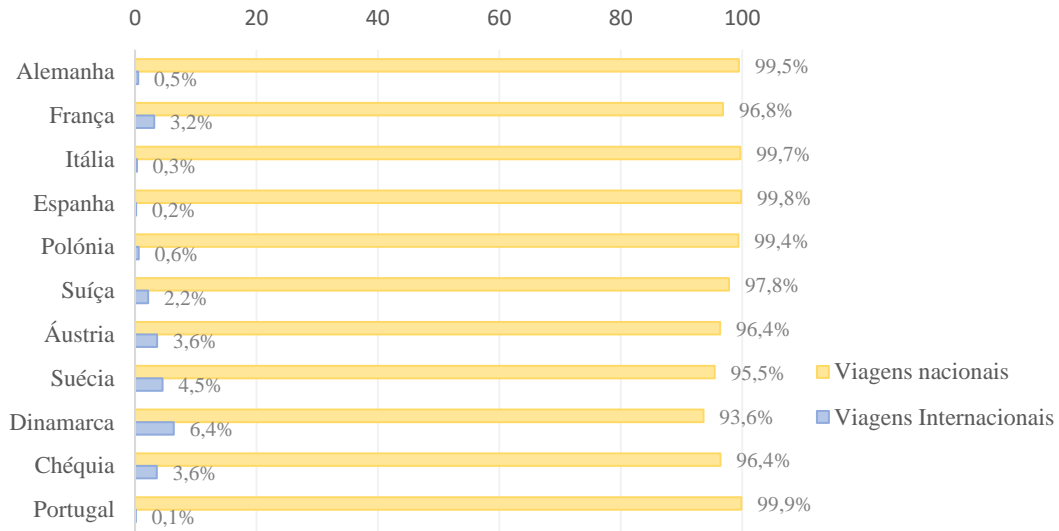


Figura A2.1. Peso das viagens nacionais e internacionais do transporte ferroviário de passageiros nos países com maior extensão de linhas (2018). Dados: Eurostat, 2023.

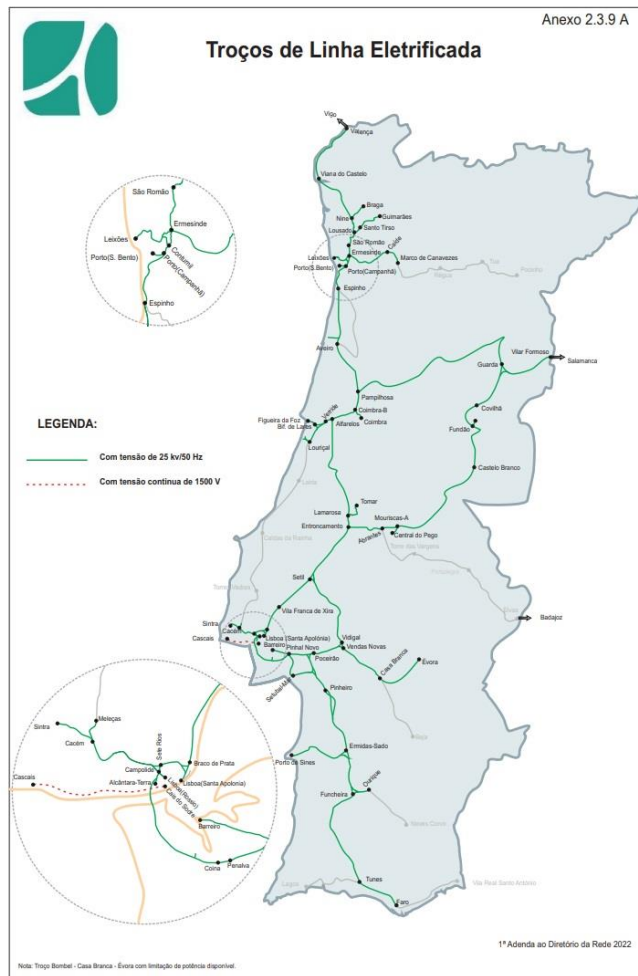


Figura A2.2. Extensão da rede ferroviária eletrificada. Fonte: IP, 2021.

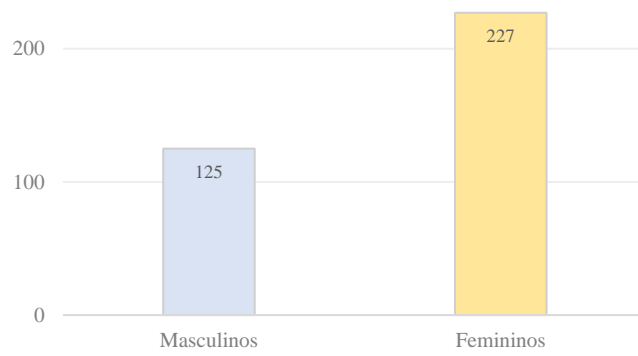


Figura A4.1. Género dos participantes.

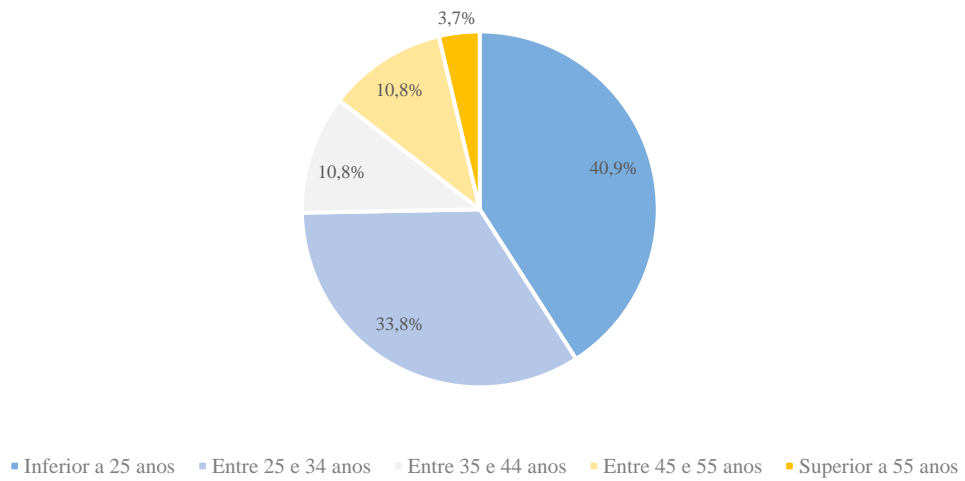


Figura A4.2. Faixa etária dos participantes.

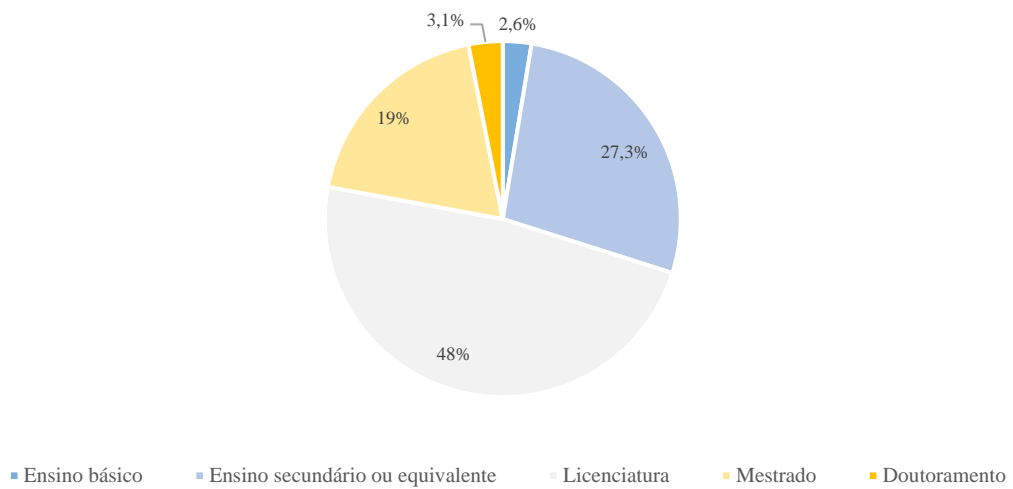


Figura A4.3. Habilitações dos participantes.

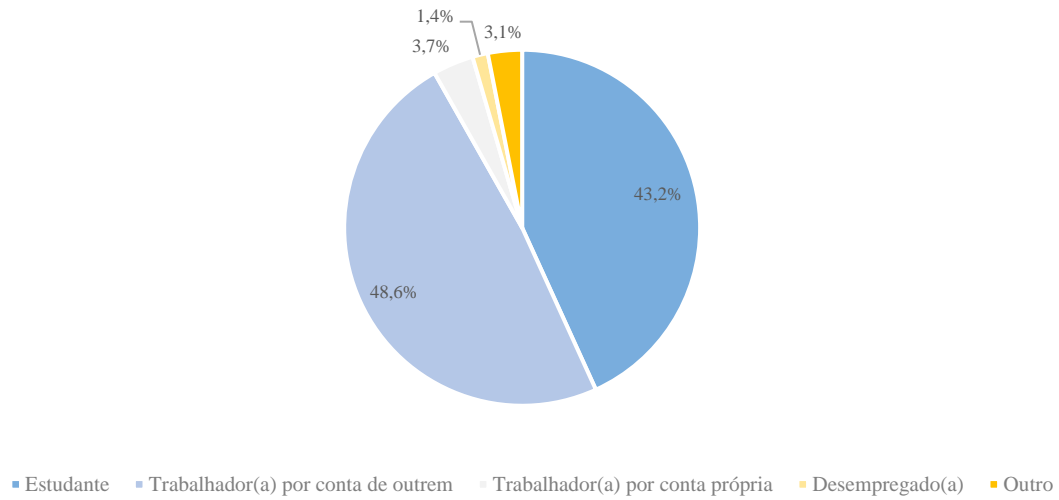


Figura A4.4. Situação profissional dos participantes.

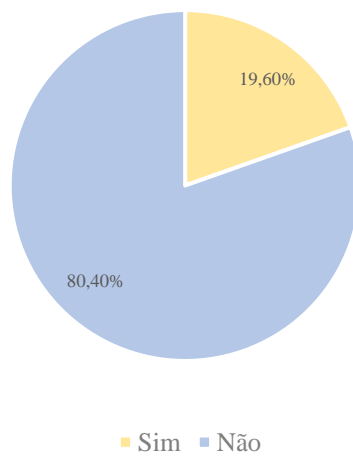


Figura A4.5. Ligação dos participantes ao setor dos transportes.

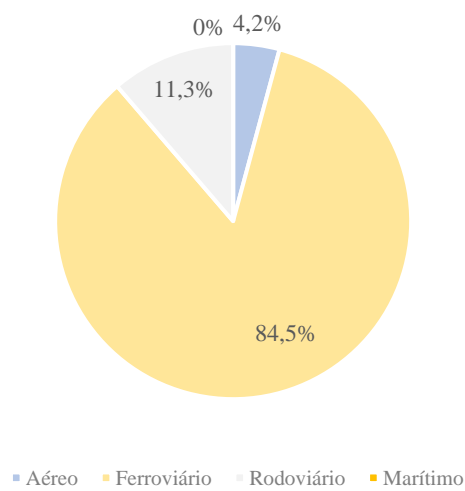


Figura A4.6. Ligação ao setor dos transportes, por tipo de transporte.

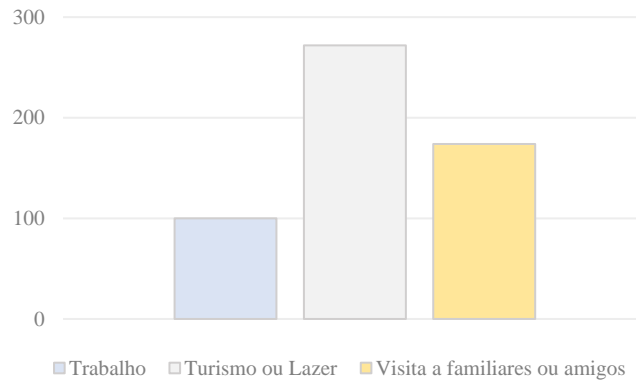


Figura A4.7. Motivação para deslocações longas.

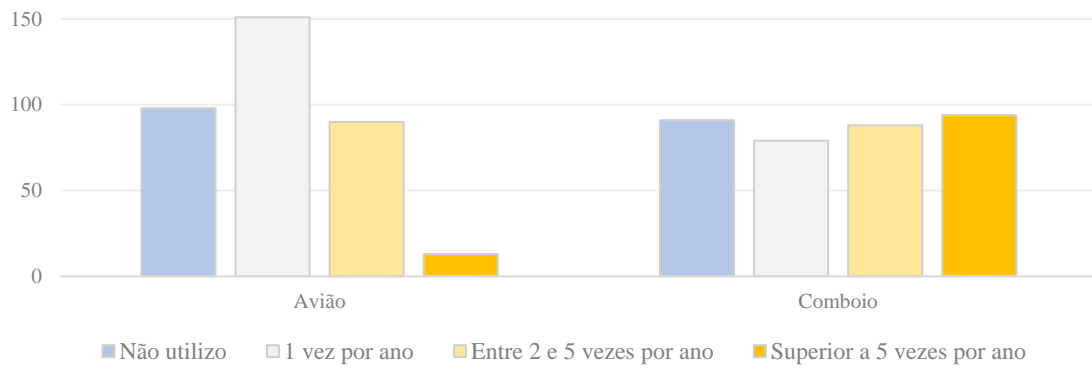


Figura A4.8. Frequência anual na utilização do avião e comboio para deslocações longas.

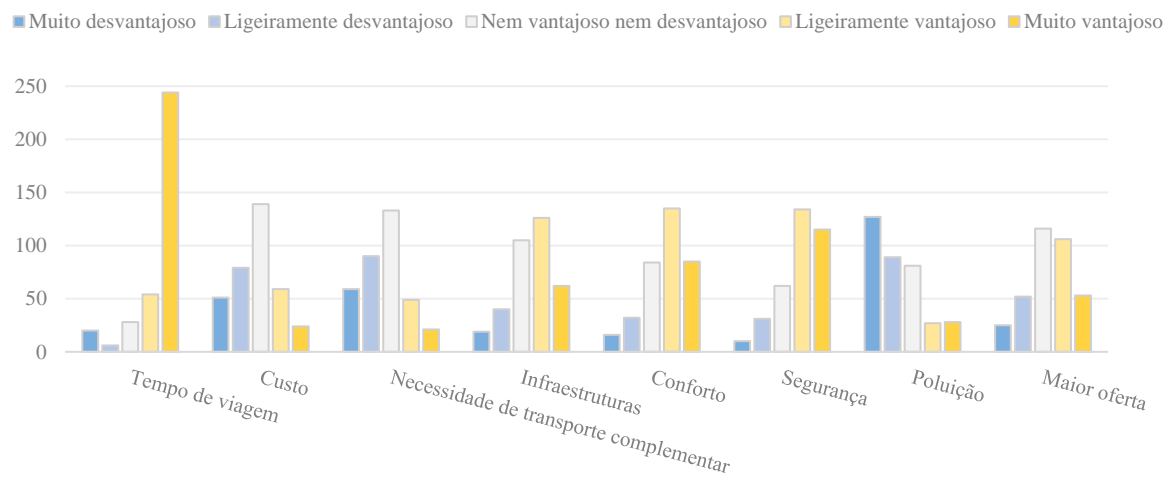


Figura A4.9. Motivações e desvantagens associadas ao transporte aéreo.

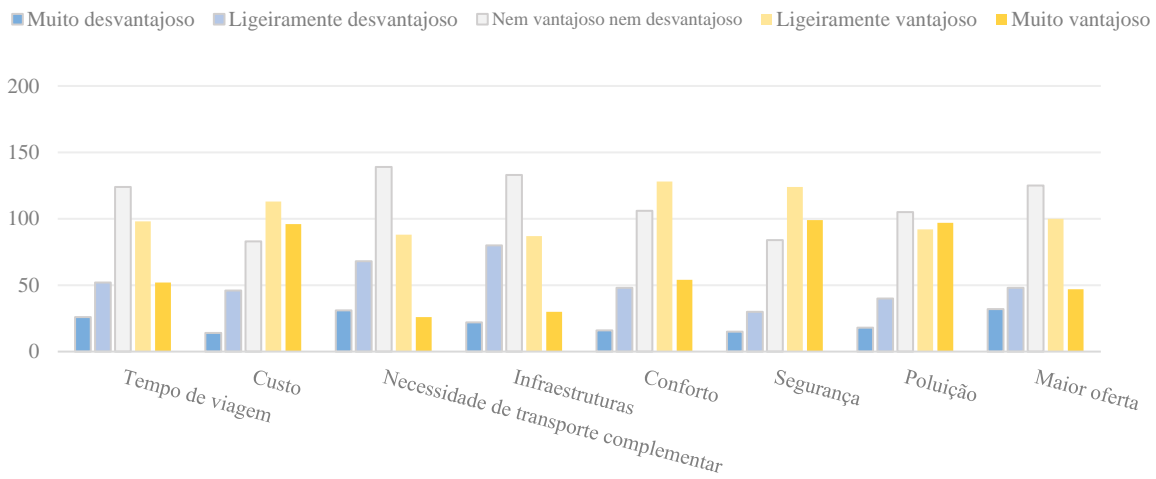


Figura A4.10. Motivações e desvantagens associadas ao transporte ferroviário.

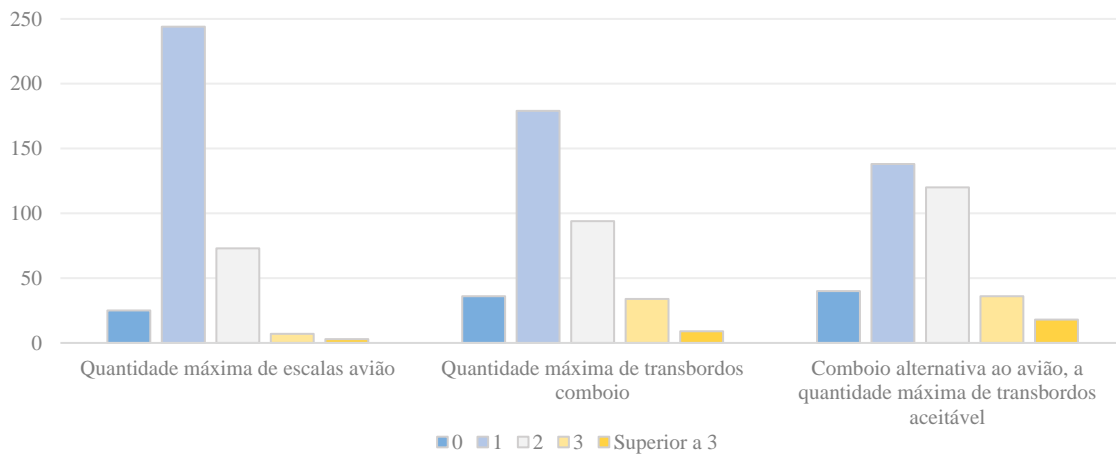


Figura A4.11. Aceitação da quantidade máxima de escalas/transbordos.

Modelo A4.1.

Título: O peso dos impactes ambientais na escolha do meio de transporte

O presente questionário foi desenvolvido no âmbito da Dissertação do Mestrado em Engenharia do Ambiente da Faculdade de Engenharia da Universidade Lusófona, com o tema "Mobilidade Sustentável - a Ferrovia como Solução para a Descarbonização", pelo mestrando Pedro Gaspar.

Este questionário terá a duração de cerca de 10 minutos, tendo como objetivo aferir as escolhas de transporte dos inquiridos e avaliar o peso das questões ambientais nas suas escolhas. As respostas obtidas são confidenciais, utilizadas apenas numa base académica e para tratamento estatístico. A sua opinião é importante para a elaboração do estudo.

Finalidade do questionário:

- Averiguar as escolhas de transporte dos inquiridos em deslocações regionais;
- Analisar a frequência com que os inquiridos utilizam os meios de deslocação;
- Efetuar uma análise comparativa entre os meios de transporte em estudo;
- Conhecer a recetividade dos inquiridos em escolher o transporte para se deslocar, tendo em conta fatores ambientais;
- Aferir quais as principais motivações associadas à escolha do avião e do comboio, bem como os principais fatores de desmotivação;
- Averiguar quais são os fatores que têm maior peso na escolha do transporte.

1ª Parte – Características do inquirido

1 Sexo	Masculino	Feminino	Não responde

2 Faixa etária	Inferior a 25 anos	Entre 25 e 34 anos	Entre 35 e 44 anos	Entre 45 e 55 anos	Superior a 55 anos

3 Nível de habilitações	Ensino básico	Ensino Secundário ou equivalente	Licenciatura	Mestrado	Doutoramento

4 Situação profissional	Estudante	Trabalhador por conta de Outrem	Trabalhador por conta própria	Desempregado	Outra

5 Ligação profissional ao setor dos transportes	Sim	Não

6 Se respondeu "sim" à pergunta 5, a que setor dos transportes pertence?	Transporte aéreo	Transporte ferroviário	Transporte rodoviário	Transporte marítimo

7 Tem algum familiar empregado no setor dos transportes?	Sim	Não

8 Se respondeu "sim" à pergunta 7, a que setor dos transportes pertence?	Transporte aéreo	Transporte ferroviário	Transporte rodoviário	Transporte marítimo

9 Formas de transporte utilizadas nas deslocações diárias	Autocarro	Avião	Carro	Comboio	Metropolitano	A pé	Bicicleta	Trotineta

10 Principais motivos para deslocações longas	Trabalho	Turismo ou lazer	Visita a familiares ou amigos

11 Meio de transporte preferível para deslocações longas	Preferível	2	3	Menos preferível
Avião				
Comboio				
Autocarro				
Carro				

12 Meio de transporte preferível para deslocações longas	Não utilizo	1 vez por ano	Entre 2 e 5 vezes por ano	Superior a 5 vezes por ano
Avião				
Comboio				

2ª Parte - Perceção da relevância do transporte aéreo vs ferroviário

1 Vantagens que associa ao transporte aéreo	Muito desvantajoso	Ligeiramente desvantajoso	Nem vantajoso nem desvantajoso	Ligeiramente vantajoso	Muito vantajoso
Tempo de viagem					
Custo					
Necessidade de transporte complementar					
Infraestruturas					
Conforto					
Segurança					
Poluição					
Maior oferta					

2	Vantagens que associa ao transporte ferroviário	Muito desvantajoso	Ligeiramente desvantajoso	Nem vantajoso nem desvantajoso	Ligeiramente vantajoso	Muito vantajoso
	Tempo de viagem					
	Custo					
	Necessidade de transporte complementar					
	Infraestruturas					
	Conforto					
	Segurança					
	Poluição					
	Maior oferta					

3	Quantidade máxima de escalas aceitável para uma viagem de avião	0	1	2	3	Superior a 3

4	Quantidade máxima de transbordos aceitável para uma viagem de comboio	0	1	2	3	Superior a 3

5	Para uma viagem com a mesma origem-destino, admitindo o comboio como alternativa ao avião, quantidade máxima de transbordos aceitável para uma viagem de comboio	0	1	2	3	Superior a 3

6 Análise de concordância	Não concordo	Discordo parcialmente	Não concordo nem discordo	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
O setor dos transportes é o setor que tem mais emissões de gases com efeito de estufa (GEE) associadas					
Preocupa-me as emissões de GEE associadas às minhas deslocações					
O comboio é um meio de transporte menos poluente que o avião					
Na escolha do meio de transporte, privilegio o tempo de viagem					
Na escolha do meio de transporte, privilegio o custo de viagem					
O avião é um meio de transporte mais rápido que o comboio					
Preferia viajar de comboio se o tempo de viagem fosse semelhante ao do avião					
A infraestrutura ferroviária em Portugal é atualmente deficitária para as necessidades de deslocação dos portugueses					

7 Análise comparativa: Assumindo a mesma origem e destino, escolha o que considera mais vantajoso	Avião	Comboio
Custo		
Tempo de viagem		
Tempo de embarque/check in/deslocação até ao local de embarque		
Tempo total de viagem (incluindo check-in)		
Conforto		
Flexibilidade		
Capacidade de transporte		
Emissões associadas		
Infraestruturas		

8 Peso dos impactes ambientais na escolha do meio deslocação	Nunca	Quase nunca	Às vezes	Quase sempre	Sempre
Tenho em conta a pegada ecológica da minha viagem ao escolher o modo de transporte					
Opto sempre que possível por um transporte ambientalmente eficiente					
Esforço-me por influenciar os outros a optar por formas de deslocação mais sustentáveis					
Sinto que as minhas escolhas podem fazer a diferença					

3ª Parte - Avaliação dos fatores de peso, considerando a mesma origem-destino, de avião e comboio

1 Para o percurso Lisboa-Porto, seleccione as que considera mais prioritárias	Tempo	Preço	Emissões	Conforto	Quantidade da oferta
Avião					
Comboio					

Considerando os seguintes dados para o percurso de cerca de 300 km:

- **Avião** de Lisboa (Aeroporto Humberto Delgado) para Porto (Aeroporto Francisco Sá Carneiro): voo direto, tempo de viagem mínimo 2 horas e 30 minutos (considerando tempo mínimo de check-in e tempo de viagem), preço bilhete mais barato 45€ comprado com 15 dias de antecedência, avião movido a jet fuel (combustível fósseis);
- **Comboio** de Lisboa (Oriente) para Porto (Campanhã): comboio Alfa Pendular com tempo de viagem 2 horas e 49 minutos, preço mais barato de 19,50€ comprado com 15 dias de antecedência, percurso efetuado em comboio com tração elétrica.

2 Para o percurso Lisboa-Madrid, seleccione as que considera mais prioritárias	Tempo	Preço	Emissões	Conforto	Quantidade da oferta
Avião					
Comboio					

Considerando os seguintes dados para o percurso de cerca de 630 km:

- **Avião** de Lisboa (Aeroporto Humberto Delgado) para Madrid (Aeroporto Madrid-Barajas): voo direto, tempo de viagem mínimo 2 horas e 50 minutos (considerando tempo mínimo de check-in e tempo de viagem), preço bilhete mais barato 40€ comprado com 15 dias de antecedência, avião movido a jet fuel (combustível fósseis);
- **Comboio** de Lisboa (Oriente) para Madrid (Atocha): são necessários 3 comboios, tempo de viagem 8 horas e 48 minutos, preço mais barato de 36,90€ comprado com 15 dias de antecedência, parte do percurso é efetuado em comboio com tração a diesel.

3 Para o percurso Lisboa-Barcelona, seleccione as que considera mais prioritárias	Tempo	Preço	Emissões	Conforto	Quantidade da oferta
Avião					
Comboio					

Considerando os seguintes dados para o percurso de cerca de 1250 km:

- **Avião** de Lisboa (Aeroporto Humberto Delgado) para Barcelona (Aeroporto El Prat): voo direto, tempo de viagem mínimo 3 horas e 20 minutos (considerando tempo mínimo de check-in e tempo de viagem), preço bilhete mais barato 33€ comprado com 15 dias de antecedência, avião movido a jet fuel (combustível fósseis);
- **Comboio** de Lisboa (Oriente) para Barcelona (Sants): são necessários 4 comboios, tempo de viagem 13 horas e 30 minutos, preço mais barato de 70,70€ comprado com 15 dias de antecedência, parte do percurso é efetuado em comboio com tração a diesel.

4 Para o percurso Porto-Vigo, selecione as que considera mais prioritárias	Tempo	Preço	Emissões	Conforto	Quantidade da oferta
Avião					
Comboio					

Considere os seguintes dados para o percurso de cerca de 145 km:

- **Avião** de Porto (Aeroporto Francisco Sá Carneiro) para Vigo (Aeroporto Vigo): 1 escala, tempo de viagem mínimo 4 horas e 55 minutos (considerando tempo mínimo de check-in e tempo de viagem), preço bilhete 101€ comprado com 15 dias de antecedência, avião movido a jet fuel (combustível fósseis);
- **Comboio** de Porto (Campanhã) para Vigo (Guixar): comboio direto, tempo de viagem 2 horas e 22 minutos, preço mais barato de 5,25€ comprado com 15 dias de antecedência, percurso efetuado em comboio com tração elétrica.

5 Para o percurso Lisboa-Faro, selecione as que considera mais prioritárias	Tempo	Preço	Emissões	Conforto	Quantidade da oferta
Avião					
Comboio					

Considere os seguintes dados para o percurso com cerca de 279 km:

- **Avião** de Lisboa (Aeroporto Humberto Delgado) para Faro (Aeroporto de Faro): voo direto, tempo de viagem mínimo 2 horas e 15 minutos (considerando tempo mínimo de check-in e tempo de viagem), preço bilhete 42€ comprado com 15 dias de antecedência, avião movido a jet fuel (combustível fósseis);
- **Comboio** de Lisboa (Oriente) para Faro (Estação de Faro): comboio direto, tempo de viagem 3 horas, preço mais barato de 23,50€ comprado com 15 dias de antecedência, percurso efetuado em comboio com tração elétrica.

6 Atendendo às condições atuais da rede ferroviária, classifique.	Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Não concordo nem discordo	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
O tempo de viagem atual Lisboa-Madrid por comboio justifica a utilização do avião como alternativa					
O facto de o percurso Lisboa-Madrid envolver pelo menos 3 comboios, este é uma alternativa credível ao avião					
Se uma viagem Lisboa-Madrid tiver 1 ou mais comboios movidos a diesel, este é uma alternativa credível ao avião					
Um comboio noturno direto entre Lisboa e Madrid seria uma boa alternativa ao avião					
O comboio é uma alternativa ao avião apenas se for movido a eletricidade					

7 Atendendo à futura linha de AV	Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Não concordo nem discordo	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
O tempo de viagem atual Lisboa-Madrid por comboio justifica a utilização do avião como alternativa					
Não se justifica as viagens domésticas de avião, sempre que exista uma alternativa ferroviária de Alta Velocidade					
Não se justifica as viagens transfronteiriças de avião sempre que exista uma alternativa ferroviária de Alta Velocidade					
O comboio de Alta Velocidade irá aproximar Portugal dos restantes países europeus					
Apenas irei considerar o comboio de Alta Velocidade se o preço do bilhete for inferior ao do avião					

Questionário submetido com sucesso.

As suas respostas serão tidas em conta e após o tratamento estatístico da informação recebida, os resultados e respetivas conclusões serão incorporados no estudo e disponibilizados para consulta.

Obrigado pela sua colaboração!