



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Margarida Isabel Dias Veríssimo Albino

**NOVO PARADIGMA DA MOBILIDADE URBANA –
CONTRIBUTOS PARA A NEUTRALIDADE CARBÓNICA
EM 2050**

**Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente, na área de
Especialização em Território e Gestão do Ambiente, orientada pela
Professora Doutora Ana Maria César Bastos Silva e apresentada ao
Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade de Coimbra.**

novembro de 2021

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
Departamento de Engenharia Civil

Margarida Isabel Dias Verissimo Albino

Novo Paradigma da Mobilidade Urbana — Contributos para a Neutralidade Carbónica em 2050

New Paradigm of Urban Mobility — Contributions to Carbon Neutrality in 2050

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente, na área de Especialização em Território e Gestão do Ambiente,
orientada pela Professora Doutora Ana Maria César Bastos Silva

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC
declina qualquer responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões que possa conter.

novembro de 2021

1 2  9 0

UNIVERSIDADE D
COIMBRA

AGRADECIMENTOS

Começo por expressar enorme gratidão à professora Ana Bastos, minha orientadora, pela dedicação e pelo esforço que sempre mostrou. O seu carisma, profissionalismo e simpatia foram sempre notáveis ao longo deste percurso. Pude contar sempre com o seu apoio, em todas as fases do desenrolar deste estudo. Obrigada por todo auxílio, pelas palavras confortantes quando foram necessárias e por me motivar sempre.

Aos meus amigos e amigas que estão e estarão sempre no meu coração. Obrigada por todas as aventuras, por todo o carinho e sobretudo pela vossa amizade. O vosso apoio foi fundamental durante este percurso académico. Obrigada, também, pela paciência e por me ouvirem quando tudo parecia impossível. Um especial e carinhoso agradecimento a este conjunto de pessoas incrivelmente fantásticas que o curso me deu e as quais me proporcionaram um dos melhores momentos da minha vida. Levo-os a todos comigo para a vida.

Por fim, não poderia deixar passar um agradecimento especial à minha família. Em particular aos meus pais, que nunca deixaram que me faltasse nada e me apoiaram incondicionalmente na minha vida pessoal e académica. Um obrigada aos meus irmãos, às minhas cunhadas e ao meu sobrinho, que veio colorir ainda mais a minha vida.

Muito obrigada!

RESUMO

Ao longo dos últimos anos, tem-se verificado que o setor dos transportes é dos que mais tem contribuído para a emissão de gases poluentes. As alterações climáticas são uma consequência das emissões de poluentes, pelo que combater esta problemática é um dos objetivos mais urgentes e desafiantes que a humanidade enfrenta. Neste sentido, a União Europeia definiu metas extremamente exigentes que visam combater as alterações climáticas e ainda atingir a neutralidade carbónica até 2050. Em paralelo, também Portugal definiu um conjunto de instrumentos setoriais que convergem para esse objetivo.

A presente dissertação, representa um contributo no sentido de identificar e avaliar linhas estratégicas e medidas de promoção de uma mobilidade urbana eficiente e sustentável. São apresentados e discutidos os principais instrumentos e estratégias europeias e nacionais que visam redirecionar as políticas de mobilidade para a procura de soluções globais que promovam, de forma integrada, os modos ambientalmente sustentáveis. No sentido de se atingir esse objetivo, são abordadas temáticas como a transferência modal do transporte individual para o transporte coletivo, assim como os modos suaves e a micromobilidade, devidamente articulados por sistemas de bilhética de informação integradas.

Em complemento, é identificado um conjunto de indicadores e de modelos de estimação, que permitiram avaliar os vários impactes associados a um projeto desta natureza. Esta avaliação foi testada através da sua aplicação a um estudo de caso prático, tendo-se optado por avaliar os impactes resultantes da entrada ao serviço do *Metrobus* (sistema BRT – Bus Rapid Transit) a ser implementado no canal da Lousã, no trecho compreendido entre Serpins e Coimbra, comparativamente à solução metro ligeiro de superfície, entretanto abandonada. Dessa avaliação foi possível concluir que os impactes mais significativos são os associados: (1) ao sector hídrico, principalmente durante a fase de construção, que pode resultar na contaminação das águas; (2) ao setor do ruído, onde a maior problemática poderá estar associada ao ruído nas zonas de paragens junto de habitações e de rolamento; (3) ao setor da qualidade do ar, sendo que os maiores problemas são apontados para a fase de construção devido ao movimento de maquinaria/veículos; (4) ao setor socioeconómico, onde os impactes mais significativos serão os tempos e custos de viagem. Ainda assim, em termos gerais, a implementação do *Metrobus* apresenta benefícios evidentes, já que a solução irá ser executada com autocarros elétricos, mais silenciosos e a circular em canal dedicado. Por fim, são elencadas algumas medidas mitigadoras com o objetivo de atenuar os principais problemas identificados, de forma a salvaguardar o bom funcionamento global do sistema, nas suas diferentes fases de implementação.

Palavras-chave: Mobilidade sustentável, Modos suaves, Impacte ambiental, Indicadores, *Metrobus*

ABSTRACT

Over the past few years, it has been identified that the transport sector is the one that most contributed to the emissions of pollutant gases. The climate changes are a consequence of those emissions, which is why combating this problem is one of the most urgent and challenging goals that humanity has to face. The European Union has defined extremely demanding targets to combat the climate change in order to achieve the carbon neutrality by 2050. In parallel, Portugal has also defined a few sectorial instruments that converge towards this goal.

This dissertation represents a contribution towards identifying and evaluating strategic lines and measures to promote a sustainable and efficient urban mobility. It is presented and discussed the main European and National instruments and strategies which aim to redirect mobility policies towards the search for global solutions. Such policies encourage, in an integrated manner, environmentally sustainable modes. In order to achieve this goal, topics such as the modal transfer from individual transport to collective transport are addressed, as well as the soft modes and micromobility, duly articulated by integrated information ticketing systems.

In order to evaluate the many impacts associated with a project of this nature, a set of indicators and estimation models are also identified. This assessment was tested by applying it to a practical case study, by studying the impacts from the implementation of the Metrobus (BRT system - Bus Rapid Transit) on the Lousã channel, in the stretch between Serpins and Coimbra, compared to the ones of the surface light meter solution, which has been discharged. It was possible to conclude that the most significant impacts are the ones associated with: (1) the water sector, especially during the construction phase, that can result in water contamination; (2) the noise sector, where the biggest problem can be associated with the noise on stops close to habitational areas and rolling noise; (3) the air quality sector, with the biggest issues being the construction phase, due to the movement of machinery/ vehicles; (4) the socioeconomic sector, where the impacts will be on travel times and costs. In spite of these factors, the Metrobus has evident benefits, since this solution will be implemented with electric buses, which are quieter and circulate in a dedicated channel. Finally, some mitigating measures are listed in order to attenuate the main problems identified and to guarantee the overall good functioning of the system in its different stages of implementation.

Keywords: Sustainable mobility, Soft modes, Environmental impact, Indicators, *Metrobus*

ÍNDICE

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract.....	iii
Índice	iv
Índice de Figuras	vi
Índice de Quadros	vii
1 Introdução.....	1
1.1 Enquadramento ao tema.....	1
1.2 Diretivas e Instrumentos aplicáveis ao setor dos transportes	3
1.3 Objetivo da dissertação	6
1.4 Estrutura da dissertação	6
2 Promoção de uma Mobilidade sustentável.....	7
2.1 Introdução e tendências atuais (multimodalidade e intermodalidade).....	7
2.2 Medidas de apoio ao Transporte Público.....	10
2.3 Os modos suaves.....	11
2.4 O veículo individual.....	14
2.5 Outras formas de transporte	15
2.6 Os sistemas de informação e de bilhética	18
2.7 Considerações Finais	19
3 Identificação e Estimação dos impactes ambientais no setor dos transportes.....	20
3.1 Descritores e indicadores	20
3.1.1 Recursos hídricos.....	21
3.1.2 Qualidade do ar.....	22
3.1.3 Ruído	23
3.1.4 Uso do solo	24
3.1.5 Sociais.....	24

3.1.6	Económicos	26
3.2	Modelos de estimação dos impactes	27
3.2.1	Ruído	27
3.2.2	Qualidade do ar.....	28
3.2.3	Socioeconomia	30
4	Estudo de caso – O sistema de metrobus	32
4.1	Introdução	32
4.2	Descrição geral do projeto	34
4.3	Identificação dos impactes mais significativos.....	36
4.3.1	Recursos hídricos.....	37
4.3.2	Ruído	38
4.3.3	Qualidade do ar.....	40
4.3.4	Socioeconómicos	40
4.4	Avaliação dos impactes	41
4.4.1	Ruído	41
4.4.2	Qualidade do ar.....	47
4.4.3	Socioeconómicos	53
4.5	Propostas de medidas mitigadoras	61
4.5.1	Recursos Hídricos.....	62
4.5.2	Ruído	63
4.5.3	Qualidade do ar.....	64
4.5.4	Socioeconómicos	64
4.6	Considerações finais	65
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	66
	Referências Bibliográficas.....	69
	Sites Consultados.....	76
	Legislação Consultada.....	78
	Anexo A.....	1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Ciclovias urbanas (a e b) Coimbra; (c) Percurso da Estação da Figueira da Foz (DI@, 2021).....	13
Figura 3.1 – Perfis de concentração, segundo uma distribuição gaussiana (Secrest et al., 2020).	29
Figura 4.1- Representação da rede do Sistema de Mobilidade do Mondego (APA et al., 2018c).	33
Figura 4.2 – Perfil transversal tipo em paragem do Metrobus.(APA et al., 2018a)	35
Figura 4.3 – Curvas de ponderação A, B, C e D (António, 2012).....	43
Figura 4.4 - Escala de Perceção das diferenças de som em dBA (MOVÉS, 2021).	45
Figura 4.5 – Localização espacial da área de estudo - Rua Primeiro de Dezembro.....	48
Figura 4.6 - Perfil de Tráfego rodoviário na Rua Primeiro de Dezembro, no dia 04 de maio de 2021.	49
Figura 4.7 - Rosa-dos-ventos para o dia 04 de maio de 2021.	51
Figura 4.8 - Delimitação da área de estudo no programa - Rua Primeiro de Dezembro.....	52
Figura 4.9 – Distribuição da concentração do poluente PM ₁₀ na área em estudo.	52
Figura 4.10 - Variação populacional do território nacional com destaque para Coimbra, Lousã e Miranda do Corvo, residentes entre 1991 e 2015 (TRENMO, 2017).	54
Figura 4.11 - Repartição modal dos 3 municípios (Coimbra, Lousã e Miranda do Corvo) nos movimentos pendulares. (TRENMO, 2017).	58
Figura 4.12 - Repartição modal entre casa-trabalho/ casa-escola, da população trabalhadora e estudante (TRENMO, 2017).....	58

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1- Relação entre a classificação modal e a classificação tecnológica (IMT, 2011). 16	16
Quadro 3.1 - "Resultado de interesses " selecionados (Rahman & Van Grol, 2005).....	21
Quadro 3.2 - Áreas Urbanas da Europa com mais horas perdidas em congestionamentos, em 2018 (EEA, 2019b).....	26
Quadro 4.1 - Quadro resumo dos resultados obtidos para o ruído exterior do (<i>LAFeq</i>), de acordo com os cenários projetados (MOVÉS, 2021).	44
Quadro 4.2 - Quadro resumo dos resultados obtidos para o ruído interior do (<i>LAFeq</i>) de acordo com os cenários projetados (MOVÉS, 2021).	46
Quadro 4.3 - Distribuição dos veículos ligeiros de passageiros por categoria	49
Quadro 4.4 - Distribuição dos veículos ligeiros de passageiros por tipo de combustível (REA@2021b).....	50
Quadro 4.5 - Distribuição percentual da frota automóvel portuguesa por tipo de norma EURO, relativa aos veículos ligeiros de passageiros, em 2017.	50
Quadro 4.6 - População que reside nas proximidades das paragens do troço suburbano (APA et al., 2018b).....	55
Quadro 4.7 - Procura, tendo em conta o modo de transporte, em 2016 (APA et al., 2018b)..	56
Quadro 4.8 - Procura do TC, no sentido mais carregado na HPM (valores acumulados), para o ano 2020 (APA et al., 2018b).	56
Quadro 4.9 - Valores referentes às escolhas modais, nas viagens com O/D nos municípios de Coimbra, para os anos 2020, 2035 e 2050 (TRENMO, 2017).	57
Quadro 4.10 - Comparação de tempos de percurso entre o metro ligeiro e <i>Metrobus</i> (LNEC & IPE, 2017).	59
Quadro 4.11 - Comparação de tempos de percurso entre os serviços alternativos e o <i>Metrobus</i> (LNEC & IPE, 2017).....	59
Quadro 4.12 - Custo médio de uma viagem realizada por um veículo ligeiro (ViaMichelin@, 2021).....	60
Quadro 4.13 - Custo de uma viagem ida e volta por tipo de combustível e ao final de um mês.	60
Quadro 4.14 - Valor mensal atualmente em vigor, praticado pelos serviços alternativos ao ramal da Lousã na ligação até Coimbra-Parque (Metro Mondego, 2020)	61

ABREVIATURAS

AEA – Agência Europeia do Ambiente

ADMS-Roads - *Atmospheric Dispersion Modelling System - Roads*

BRT – *Bus Rapid Transit*

CCDR – Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional

COVNM – Compostos Orgânicos voláteis Não Metânicos

DIA – Declaração de Impacte Ambiental

EEE – Espaço Económico Europeu

EN - Estrada Nacional

GEE – Gases com Efeito de Estufa

GPL – Gás Liquefeito de Petróleo

HPM – Hora de Ponta da Manhã

IA – Inteligência Artificial

IGC – Instituto Geofísico de Coimbra

IMT– Instituto da Mobilidade e dos Transportes

INE – Instituto Nacional de Estatística

IP – Infraestruturas de Portugal

IPCC – Painel Intergovernamental para as alterações climáticas

JAЕ – Junta Autónoma de Estradas

MLS – Metro Ligeiro de Superfície

PART - Programa de Apoio à Redução Tarifária

P&R – *Park & Ride*

RECAPE - Resumo Não Técnico do Relatório de Conformidade Ambiental do Projeto de Execução

RJSPTP - Regime Jurídico do Serviço Público do Transporte de Passageiros

SMM – Sistema de Mobilidade do Mondego

SUMMA - *Sustainable Mobility, policy Measures and Assessment*

SMTUC - Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra

TC – Transporte Coletivo

TI – Transporte Individual

TIC – Tecnologias de Informação e Comunicação

TMDA - Tráfego Médio Diário Anual

TMH – Tráfego Médio Horário

UE - União Europeia.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento ao tema

Um dos grandes e mais importantes desafios que a humanidade enfrenta na atualidade, centra-se no combate às alterações climáticas. O setor dos transportes é dos que mais contribui para a emissão de gases com efeito de estufa (GEE), representando 25% na União Europeia (UE) e, segundo a Associação Portuguesa para o Desenvolvimento dos Sistemas Integrados de Transportes (ADFERSIT@, 2021), 24,2% a nível nacional.

O crescente aumento da população e, em particular a sua tendencial concentração em meio urbano, traduz-se num conseqüente aumento das necessidades de mobilidade e, por inerência, do tráfego rodoviário. Este aumento, por um lado, é positivo, na medida em que se promove o desenvolvimento económico e social, mas por outro, é negativo, já que se está a contribuir para o aumento das emissões dos GEE e para a poluição atmosférica. Complementarmente, é ainda evidente que a dependência por fontes de energia de origem petrolífera é acentuada (Wood & Roelich, 2019).

Deste modo, urge mitigar os impactes negativos resultantes do setor dos transportes, promovendo uma mobilidade ambientalmente sustentável. A transferência do transporte individual para os modos suaves e para o transporte coletivo, bem como do transporte rodoviário de mercadorias para o transporte ferroviário, são, entre outros, alguns dos objetivos centrais às políticas europeias e nacionais.

Segundo (REA@, 2021a) e de acordo com os dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Estatística (INE), em 2017 os modos rodoviários foram os mais utilizados – correspondendo a 514,8 milhões de passageiros em Portugal continental. Relativamente à distribuição modal do transporte de passageiros, em Portugal e na UE-28, constatou-se que existe uma tendência para os veículos ligeiros de passageiros e a utilização destes está em constante crescimento, sendo que em 2016, o seu peso era de 89,1%. Em geral, na UE-28, os veículos ligeiros de passageiros são ainda o modo mais recorrido, no entanto, face a Portugal, o seu peso é superficialmente inferior, estando nos 82,9%. Ainda é referido, de acordo com os censos de 2011 que 61,6% das viagens realizadas, recorrendo ao Transporte Individual (TI), tiveram como Origem/Destino casa-trabalho ou casa-escola, o que correspondeu a um aumento de 15,9 pontos percentuais (p.p) face a 2001. Quanto às viagens que foram feitas a pé e de autocarro, é salientado que estas tiveram uma redução bastante significativa, pois em dez anos (2001- 2011), houve uma perda de 8,7 p.p e 4,1 p.p, respetivamente (REA@, 2021a).

O conceito de mobilidade sustentável surge como forma de responder a alguns destes objetivos bem como para atenuar os efeitos nocivos associados à mobilidade urbana.

Nesta perspetiva, é imperativo que se assegure uma mobilidade cada vez mais sustentável nas diferentes vertentes - económica, social e ambiental - e isso significa que, para que se atinja esse objetivo, se tenha que alterar as estratégias de atuação (políticas, sociais e económicas), hábitos de mobilidade e ainda a forma de pensar. Tal deverá passar por uma forte aposta na mudança dos padrões de mobilidade, assente na promoção dos modos de transporte sustentáveis - mais eficientes energeticamente e ambientalmente - cujo impacte ambiental seja o menor possível, na salvaguarda de que os mesmos serão acessíveis socialmente e economicamente a todos, de forma a garantir um serviço de qualidade perante a sociedade. Os transportes coletivos e os modos suaves (pedonal e ciclável) assumem um elevado protagonismo nesta transferência modal, sendo inquestionáveis as vantagens que ambos potenciam perante o meio ambiente.

Outra vertente que deve ser alvo de análise está relacionada com a organização territorial dos espaços urbanos. De facto, verifica-se uma expansão urbana, muitas vezes para a periferia das cidades, assumindo sempre o automóvel individual como um meio de transporte garantido e privilegiado. Esta tendência repercute-se em congestionamentos, poluição e ainda contribui para o desfavorecimento económico e social. Como tal, é necessário construir uma nova visão sobre este paradigma. Garantir o acesso a todos, fazendo chegar o transporte coletivo a todas as áreas urbanas torna-se premente e em grande parte, legalmente exigível. A Lei nº 52/2015, de 9 de junho, que aprovou o Regime Jurídico do Serviço Público do Transporte de Passageiros (RJSPTP), veio estabelecer os serviços mínimos, os quais, entre outras exigências, deverão cobrir todos os aglomerados com mais de 40 habitantes. Minimizar as necessidades de deslocação, através de um planeamento de território que aposte na multifuncionalidade de usos, garantindo, entre outras ações, que o trabalho e os bens essenciais se encontrem perto das residências afigura-se como o modelo a seguir. Deste modo, uma cidade compacta, mas diversificada e multifuncional, deverá ser a que melhor responde aos desafios impostos. De entre os vários exemplos, refira-se a “cidade dos 15 minutos” recentemente defendida para a transformação de Paris (Moreno et al., 2021) e entretanto seguida por municípios, um pouco por todo o mundo.

Neste sentido, a UE, em conformidade com os objetivos das Nações Unidas e de forma a promover uma mobilidade urbana sustentável, definiu um conjunto de estratégias que vão ao encontro destes problemas. O Pacto Ecológico Europeu vem, desta forma, propor um plano ou um conjunto de estratégias, cujo principal objetivo é o de transformar a UE numa sociedade que seja economicamente eficiente, que seja justa, promovendo a igualdade, e que até 2050 consiga atingir «*as zero emissões líquidas de gases com efeito de estufa e em que o crescimento económico esteja dissociado da utilização dos recursos*» (Comissão Europeia, 2019). O Pacto Ecológico Europeu estabelece assim, uma série de políticas e medidas aplicáveis a vários setores, incluindo o setor dos transportes, e estas devem ser postas em prática pelos Estados Membros para que assim se consigam cumprir todos os desafios e objetivos estabelecidos naqueles instrumentos supranacionais.

Além do Pacto Ecológico Europeu, importa salientar o Acordo de Paris sobre as alterações climáticas, que foi adotado na 21ª Conferência das Partes, a 12 de dezembro de 2015. Limitar o aumento da temperatura média mundial abaixo dos 2°C, em relação aos níveis pré-industriais e ainda garantir que o aumento da temperatura não ultrapasse o 1,5°C, é um dos objetivos principais do Acordo de Paris e que, desta forma, garante que as emissões globais de GEE sejam reduzidas. Portugal, em 2016, completou o processo de ratificação do Acordo de Paris, apresentando estratégias para limitar os GEE.

1.2 Diretivas e Instrumentos aplicáveis ao setor dos transportes

Com vista a atingir as metas impostas pela União Europeia, foram adotadas algumas medidas e orientações que abrem o caminho para se atingir a neutralidade carbónica em 2050. Para isso, foi desenvolvido um conjunto de documentos estratégicos, a nível internacional e nacional, que visam alcançar esses objetivos, com medidas específicas no campo da mobilidade sustentável.

Livro verde: Por uma nova cultura de mobilidade urbana

Em 2007, a Comissão Europeia publicou um Livro verde com o objetivo de sensibilizar e trazer ao debate problemas relacionados com os transportes e ainda de apresentar soluções que possam ser aplicadas. A Comissão decidiu, assim, apresentar um Livro Verde sobre mobilidade urbana para explorar se, e de que modo, pode acrescentar valor às ações já encetadas a nível local. Desde então e ao longo das últimas décadas, a UE desenvolveu políticas sobre questões relacionadas com os transportes urbanos (Comissão Europeia, 2007).

Plano de Ação de Mobilidade Urbana

Na sequência do Livro Verde, foi adotado, pela comissão europeia, o Plano de Ação de Mobilidade Urbana cuja finalidade é apoiar o desenvolvimento de políticas que sejam sustentáveis e que consigam alcançar os objetivos gerais da União Europeia (Comissão Europeia, 2009). Nesse documento são focados 6 temas e impostas 20 ações que irão auxiliar as autoridades locais, regionais e nacionais, a cumprir com os objetivos pretendidos pela comissão europeia no âmbito de uma mobilidade urbana sustentável. Trata-se, portanto, de um plano geral que apresenta algumas estratégias, que podem e devem ser implementadas pelas autoridades locais, regionais e nacionais a fim de se atingir uma mobilidade urbana mais sustentável e que vai de acordo com os ideais da UE. A comissão europeia, apresentou, com o seu Plano de Ação de Mobilidade Urbana, um pacote de apoio mais abrangente, relativo à mobilidade urbana (Cartaxo, 2020).

Pacto Ecológico Europeu

A comissão europeia fez uma comunicação onde apresentou uma iniciativa, o Pacto Ecológico Europeu para a União Europeia e respetivos Estados Membros. Trata-se de um pacote de

medidas com um roteiro para tornar a economia da UE mais sustentável, abrangendo os vários sectores de intervenção. O plano de ação do Pacto Ecológico Europeu pretende promover a utilização mais eficiente dos recursos defendendo a necessidade de se transitar para uma economia que seja mais limpa e circular. Pretende também que a biodiversidade seja restaurada e ainda que a poluição diminua. Neste plano, é feita uma descrição dos investimentos que necessitam de ser realizados e explica ainda como é que a transição deve ser feita para que seja justa e inclusiva.

Neste âmbito, a UE propôs uma Lei Europeia do Clima para assegurar que em 2050 se atinja a neutralidade. Com a lei passa-se de um «*compromisso político para uma obrigação jurídica*» (CE@ 2021). Nos dias 10 e 11 de dezembro de 2020, o Conselho Europeu definiu algumas metas, tendo por base a proposta da Lei Europeia do Clima, metas essas que se traduzem na redução das emissões de GEE da UE em pelo menos 55% até 2030 (comparativamente às emissões de 1990) (CE@ 2021). O Conselho, que é representado pela sua Presidência e o Parlamento Europeu, precisam de chegar a um acordo político relativamente à proposta, antes do regulamento sobre a Lei Europeia do Clima ser adotada (CE@, 2021).

Os domínios de intervenção do Pacto Ecológico Europeu são alargados: Biodiversidade, «Do Prado ao Prato», Agricultura sustentável, Energia limpa, Indústria sustentável, Construção e renovação, Mobilidade Sustentável, Eliminação da poluição e Ação Climática. O sector da mobilidade é assim um dos 9 sectores de intervenção considerados prioritários para se atingirem os objetivos estabelecidos.

Estratégia de mobilidade sustentável e inteligente – pôr os transportes europeus na senda do futuro

A Comissão Europeia apresentou, em dezembro de 2020, a sua “Estratégia de mobilidade sustentável e inteligente – pôr os transportes europeus na senda do futuro” onde apresenta um plano de ação com 82 iniciativas em 10 áreas chave de ação (“emblemáticas”). Estas vão de encontro ao que se encontra plasmado no Pacto Ecológico Europeu que refere que é necessário alcançar a neutralidade carbónica e que para tal deverão ser reduzidas em 90% as emissões dos transportes até 2050 (Comissão Europeia, 2019). A estratégia de mobilidade sustentável e inteligente está estruturada conforme os três objetivos principais: tornar o sistema europeu Sustentável, Inteligente e Resiliente. A mudança para um sistema que tenha como base estes três princípios, deve sobretudo ser inclusiva e não deixar ninguém para trás. Todos devem ter acesso à mobilidade, incluindo as regiões rurais e mais isoladas, sendo que estas devem permanecer conectadas ao sistema de transportes (Sustainable, 2020). Assim, relativamente às áreas chave de ação, destacam-se os seguintes objetivos:

- Mobilidade urbana - tornar o sistema sustentável através de uma forte aposta nos modos com emissões nulas, e no uso de combustíveis hipocarbónicos e renováveis. A

promoção da mobilidade ferroviária em detrimento da rodoviária, seja nas deslocações urbanas, suburbanas e regionais, são algumas das apostas fortes do sector;

- Mobilidade inteligente - transitar para uma mobilidade multimodal que seja conectada e autónoma, como por exemplo, a compra de bilhetes para viagens multimodais;
- Sistema resiliente – desenvolver um plano de ação da Estratégia que reforce o mercado único investindo fortemente na resolução da Rede Transeuropeia de Transportes (RTE-T) até 2030 e ainda investindo e apoiando nas alterações (modernização) das frotas nos vários modos de transportes (IMT@, 2021a). Garantir o acesso à mobilidade para todos, incluindo os passageiros com mobilidade reduzida é também uma das metas, bem como, assegurar a segurança e proteção dos transportes em todos os modos de transporte.

Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050)

Em linha com a Cimeira de Ação Climática das Nações Unidas, Portugal apresentou o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050, sendo este a Estratégia de Desenvolvimento, a longo prazo, com baixas emissões de gases com efeito de estufa, prevista no Acordo de Paris (República Portuguesa et al., 2019). O Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 foi aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 107/2019, de 1 de julho. O foco principal do Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 é a orientação de estratégias e trajetórias de forma a atingir a neutralidade carbónica até 2050, tendo em conta os diferentes cenários de desenvolvimento socioeconómicos. Para se atingir a neutralidade carbónica em Portugal, as emissões de GEE devem reduzir entre 85% e 90% até 2050.

Assim, o Roteiro apresenta trajetórias alternativas até 2050 para quatro setores principais, responsáveis pelas emissões de GEE, nomeadamente o setor da energia e indústria, dos transportes e mobilidade, dos resíduos e águas residuais e ainda da agricultura, florestas e uso do solo (República Portuguesa et al., 2019).

Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030

No seguimento dos vários pacotes que a Comissão Europeia lançou para se conseguir alcançar a neutralidade carbónica em 2050, destaca-se o Pacote Legislativo “Energia Limpa para todos os Europeus”, lançado em 2016, que visa a promoção da transição energética entre 2021-2030 sem comprometer o crescimento económico. Um dos objetivos do pacote era que todos os Estados-Membros apresentassem à Comissão Europeia um Plano Nacional Integrado de Energia e Clima (PNEC) para o horizonte 2030. Nele, estão previstas algumas metas e objetivos relativos, por exemplo, às emissões de GEE, energias renováveis e eficiência energética e ainda quais os procedimentos a adotar para as atingir. Pretende assim, que em 2030, 32% de quota de energia seja proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto; que haja uma redução em 32,5% no consumo de energia; reduzir 40% das emissões de GEE relativamente aos níveis de 1990 e ainda que se verifique 15% de interligações elétricas.

1.3 Objetivo da dissertação

A presente dissertação tem como principal objetivo identificar estratégias e medidas aplicáveis ao setor dos transportes, de forma a promover a mobilidade urbana sustentável. Para tal, foi selecionado um conjunto de indicadores quantitativos e qualitativos aplicados aos diferentes determinantes, os quais servirão para estimar os impactes ambientais resultantes da adoção dessas mesmas medidas. Pretende-se ainda identificar medidas e ações que, de acordo com as políticas europeias, nacionais e locais, procuram promover a mobilidade urbana sustentável e que, desta forma, tendam a gerar impactes positivos para o meio ambiente. Esta avaliação foi aplicada a um exemplo real, tendo-se por razões de facilidade logística optado por avaliar os impactes associados à entrada ao serviço do *Metrobus* (sistema BRT – *Bus Rapid Transit*) a ser implementado no canal da Lousã, entre Serpins e Coimbra. Tendo por base a entrada ao serviço deste novo modo de transporte, procura-se inferir as alterações que o mesmo tenderá a impor na transferência modal e avaliar os impactes que lhe estão associados. Finalmente são apresentadas medidas adicionais que, de forma integrada, permitam garantir um funcionamento otimizado de todo o sistema.

1.4 Estrutura da dissertação

A dissertação está estruturada em cinco capítulos. No primeiro capítulo, é feito um enquadramento ao tema e são apresentados os principais objetivos da dissertação.

No segundo capítulo é apresentado um conjunto de estratégias e de medidas que permitam promover a mobilidade urbana sustentável. São apresentadas as tendências atuais em termos de multimodalidade e intermodalidade, é feita uma caracterização dos modos suaves e de outras formas alternativas de transporte e são descritas algumas medidas de apoio ao transporte público bem como sobre os sistemas de informação bilhética.

No terceiro capítulo é apresentada uma estimação dos impactes ambientais relativos ao setor dos transportes. É feito um levantamento dos descritores e indicadores em vários setores. Em seguida são aplicados os modelos que irão estimar os impactes.

O capítulo quatro é direcionado para o estudo de caso sobre o sistema de *Metrobus*. É feita uma descrição geral do projeto, passando pela identificação dos impactes mais significativos bem como pela avaliação dos mesmos. Em complemento são apresentadas algumas medidas mitigadoras.

Por fim, no capítulo cinco é feita uma análise, retirando as principais conclusões. É ainda descrito alguns desenvolvimentos futuros.

2 PROMOÇÃO DE UMA MOBILIDADE SUSTENTÁVEL

2.1 Introdução e tendências atuais (multimodalidade e intermodalidade)

Nas últimas décadas tem-se verificado um forte crescimento populacional nos espaços urbanos e um dos motivos principais para essa expansão deve-se à evolução no setor dos transportes e, por inerência, ao aumento da acessibilidade. Desde a revolução industrial, no final do século XVIII, que se verificaram as primeiras migrações populacionais, principalmente das áreas mais rurais para as cidades, dando assim origem às aglomerações urbanas e conseqüentemente às grandes metrópoles (APA, 2010). Apareceram os primeiros automóveis e transportes coletivos dando desta forma, mais oportunidades de crescimento, tanto a nível económico como social.

Se outrora só uma percentagem da sociedade tinha acesso ao transporte, atualmente, esse acesso generalizou-se, transformando-se mesmo num direito constitucional, o que traz, por um lado, benefícios, mas por outro, traz conseqüências negativas em termos de congestionamentos do tráfego com sérias implicações ambientais (sonora e qualidade do ar). Segundo o relatório especial sobre a mobilidade urbana sustentável na UE, aproximadamente 96% dos cidadãos da UE que vivem sobretudo em zonas urbanas, estão diariamente expostos a vários poluentes que, segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), são prejudiciais para a saúde (TCE, 2020).

De facto, a vida quotidiana obriga a deslocações, por recurso aos modos de transporte mais tradicionais, como o transporte individual, ou aos chamados modos suaves, como a bicicleta ou a pé. Mobilidade urbana pode ser definida como os movimentos/deslocações que as pessoas fazem, entre os vários destinos nas zonas urbanas, através das redes e serviços de transportes que estão disponíveis (TCE, 2020). A esta definição associa-se um outro termo, nomeadamente a sustentabilidade, dando origem ao conceito de mobilidade sustentável, que pode ser entendido como as deslocações que as pessoas necessitam de realizar, para responder às suas necessidades, recorrendo a modos de transporte sustentáveis (APA, 2010).

Em linha com esta perspetiva, a UE incentiva a promoção de uma mobilidade urbana sustentável através da implementação de estratégias que consigam, de forma eficaz, fazer a transição para modos de transporte mais eficientes, ecológicos e sustentáveis, tais como a bicicleta, deslocações a pé, os transportes públicos e ainda veículos cuja fonte de energia não seja petrolífera.

Em 2019, a comissão europeia lançou um comunicado onde apresentou o Pacto Ecológico Europeu cujos objetivos principais são (Comissão Europeia, 2019):

- A obtenção das zero emissões líquidas de GEE em 2050;
- Um crescimento económico que seja desagregado da exploração dos recursos;

- Que ninguém nem nenhuma região sejam deixados para trás.

Assim, é esperado e exigido que em 2050 o impacto da UE sobre o clima seja neutro. Para alcançar este desafio, todos os setores da economia têm de sofrer alterações profundas. Entre os vários setores encontra-se o setor dos transportes, no qual, o desiderato é que exista um esforço de uma transferência modal mais sustentável e inteligente (Comissão Europeia, 2019). Para que se consiga alcançar a neutralidade climática até 2050, é necessário que haja uma redução de 90% das emissões, por parte dos transportes.

A multimodalidade e intermodalidade surgem precisamente para responder a estas metas. Alcançar uma mobilidade que seja mais eficiente, mais ecológica e mais sustentável, passa pela integração destas duas noções. Desta forma, importa definir bem os termos de multimodalidade e de intermodalidade. O conceito de multimodalidade pode ser definido como o uso de mais de um modo de transporte durante um determinado período de tempo (Buehler & Hamre, 2015). Se se tratar do transporte de mercadorias, pode dizer-se que é o transporte destas através de pelo menos dois modos diferentes de transporte (Elbert et al., 2020). Já o transporte intermodal pode ser definido como a deslocação ou transporte de um indivíduo ou de uma carga, através de uma sequência articulada de pelo menos dois modos de transporte, desde a sua origem até ao destino final e onde essa passagem de um modo para o outro é realizada através de um terminal intermodal (Crainic & Kim, 2007).

Neste sentido, importa promover a oferta multimodal de deslocações e a intermodalidade entre os vários modos de transporte. O Livro Branco *Roteiro do espaço único europeu dos transportes – Rumo a um sistema de transportes competitivo e económico em recursos* afirma que o setor dos transportes deverá sofrer alterações para novos padrões, isto é, deverá ser realizado em maiores volumes, o transporte conjunto de mercadorias e de passageiros até ao destino final, através do modo/cominação de modos que sejam mais eficientes, deixando o transporte individual (preferencialmente veículos ecológicos), para a etapa final da viagem (Comissão Europeia, 2011). Para que se verifique esta evolução, é necessário investir no desenvolvimento de soluções que promovam a integração, a interoperabilidade e a coordenação dos vários modos oferecidos para deslocação de pessoas e mercadorias.

Muitas das grandes cidades com uma economia emergente, como Teerão, Pequim ou São Paulo, desenvolveram as suas redes rodoviárias de forma a priorizar os automóveis individuais, o que levou a que os níveis de poluição atmosférica aumentassem, a segurança rodoviária ficasse comprometida e ainda que o congestionamento aumentasse (Van Audenhove et al., 2014). Desta forma, as cidades que apresentam os sistemas de mobilidade parcialmente subdesenvolvidos, têm a oportunidade de se tornarem melhores, evitando desta forma, cometerem os mesmos erros. Para tal, é importante que se invista no desenvolvimento e implementação de soluções de transporte em massa: linhas e estações ferroviárias otimizadas para que sirvam como pontos de intercâmbio multimodal; em transportes ferroviários, como o

metro, o metro ligeiro de superfície ou o comboio e ainda em serviços de BRT – *Bus rapid transit* (Van Audenhove et al., 2014).

Nesta perspetiva, é importante salientar que todos os modos de transporte assumem um papel relevante no modelo global de mobilidade urbana (APA, 2010). Para além dos transportes ferroviários, há que investir nos restantes transportes públicos, no modo pedonal e ainda no ciclável, já que estes são os modos mais sustentáveis. O Livro Branco *Roteiro do espaço único europeu dos transportes – Rumo a um sistema de transportes competitivo e económico em recursos* diz ainda que é fundamental interligar as redes modais, ou seja, os aeroportos, as estações de comboio, metro, autocarro e ainda os portos, deverão estar conectados dando, desta forma, a oportunidade aos passageiros de usufruírem de um serviço bastante mais lógico (Comissão Europeia, 2011).

Desta forma, alcançar a multimodalidade e a intermodalidade de forma eficaz e eficiente, torna-se fundamental. O Pacto Ecológico Europeu estabelece ainda que, os modos de transporte ferroviário e por vias navegáveis interiores devem ter um papel relevante na multimodalidade, devendo por isso haver transferência modal do transporte rodoviário interno de mercadorias (que representam 75% do total) para esses modos (Comissão Europeia, 2019). A mobilidade multimodal começa, desta forma, a ganhar força relativamente ao avanço tecnológico. O conceito de mobilidade urbana inteligente nasceu nos últimos anos e tem como objetivo responder a uma vasta gama de necessidades bem como descrever os vários desenvolvimentos tecnológicos. Um sistema de transporte mais inteligente é aquele em que os efeitos a nível ambiental, económico e social da mobilidade são equilibrados para produzir um sistema de transporte mais sustentável (Butler et al., 2020). Os sistemas de transportes inteligentes utilizam a computação e as tecnologias de informação e comunicação mais inovadoras, de forma a melhorar a eficiência e a segurança geral dos sistemas de transporte (Butler et al., 2020). Também a aposta na mobilidade multimodal automatizada e conectada será alvo de interesse pois irá ter um papel crucial juntamente com os sistemas inteligentes de gestão do tráfego (Comissão Europeia, 2019).

Por último, não deixa de ser importante salientar, que nesta perspetiva de multimodalidade e intermodalidade, a bicicleta desempenha um papel cada vez mais importante já que é um modo de transporte flexível e que consegue responder às várias necessidades de deslocação urbana. É essencial interligar este modo de transporte quer à rede de transportes coletivos quer aos circuitos pedonais.

O Manual de Boas Práticas para o Projeto Mobilidade Sustentável desenvolvido pela Agência Portuguesa do Ambiente identifica algumas ações relevantes, nomeadamente (APA, 2010):

- Deverá ser aperfeiçoado o funcionamento bem como a qualidade das estações e das paragens e estas deverão ser integradas na rede pedonal envolvente;

- A qualidade e integração de diferentes tipos de serviços de operação deve ser melhorada e otimizada, nomeadamente, os serviços de bilhética e tarifários e ainda os sistemas de informação;
- O acesso por parte dos transportes públicos em locais como praças ou zonas pedonais deve ser autorizado, já que desta forma permite aos utilizadores acederem ao Transporte Coletivo (TC) em locais onde não são permitidos ao tráfego motorizado.

A criação de serviços multimodais, como *Park&Ride*, *Park&Metro* ou ainda *Bus&Metro*, são também formas de atuação no que diz respeito a estes novos paradigmas.

2.2 Medidas de apoio ao Transporte Público

Na promoção da mobilidade urbana sustentável, o transporte público assume um papel central. Debato-nos assim com uma questão: “Como convencer a população a transitar para este modo de transporte alternativo?” A resposta não é fácil, até porque combater a flexibilidade, disponibilidade e conforto do veículo individual, é extremamente difícil. Importa que o transporte público se afirme como espinha dorsal do sistema de transportes urbano, sendo essencial torná-lo atrativo. Contudo, e como referido, a experiência mostra que essa transferência não é fácil nem direta, sendo absolutamente essencial combinar medidas de apoio ao transporte público, devidamente conjugadas com medidas dissuasoras ao uso do veículo individual.

A resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020 que aprova o Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC 2030) refere que deve ser garantido aos cidadãos um serviço de transporte público com qualidade, com mais comodidade, mais rápido e de acesso fácil, promovendo assim, a coesão social e a equidade na acessibilidade de todos os cidadãos. Simultaneamente é apresentada uma lista de várias medidas de ação a implementar para que desta forma se promovam as transferências modais. As medidas de ação são:

- Programa de Apoio à Redução Tarifária, iniciado em abril de 2019, apoiado pelo Fundo Ambiental;
- Expandir as redes e equipamentos de transporte público em todo o território;
- Ações de promoção do transporte público interurbano multimodal;
- Implementação de um sistema integrado de informação e de bilhética.

O Programa de Apoio à Redução Tarifária (PART) nos Transportes Públicos, lançado em abril de 2019, veio permitir reduzir o custo dos passes, contribuindo para combater os efeitos negativos associados ao sector, atuando na exclusão social, nas emissões de GEE, na poluição atmosférica, no congestionamento, ruído e ainda no consumo de energia. O seu enquadramento legal encontra-se estabelecido no Decreto-Lei n.º 1-A/2020 de 3 de janeiro.

Também o programa ProTransp (Programa de Apoio à Densificação e Reforço da Oferta de Transporte Público), lançado em 2020 no âmbito do Fundo Ambiental, e com a afetação de uma dotação de 15 milhões de euros, procurou promover o aumento da oferta de transportes públicos em espaços fora das áreas metropolitanas, com o objetivo de alcançar alteração dos padrões de mobilidade a favor do transporte público e para a descarbonização da mobilidade.

Existe ainda a iniciativa da comissão europeia, lançada em 2002 com o intuito de apoiar as cidades, denominada CIVITAS e que pretende redefinir as medidas e políticas de transporte a fim de promover os transportes mais limpos e sustentáveis, designadamente o transporte público.

Também a resolução do conselho de Ministros n.º 61-A/2015, que aprovou a versão final revista do Plano Estratégico dos Transportes e Infraestruturas-PETI3+, para o horizonte 2014-2020, apresentava um conjunto de investimentos em infraestruturas de transporte a implementar até ao final da década. Essa tendência é agora mantida e reforçada no PNI2030 – Plano Nacional de Investimentos e que elege o sector dos transportes, como um sector central ao desenvolvimento económico e social do território nacional, para o qual foram alocados 21,7 mil milhões de euros, ou seja, cerca de metade do valor global do PNI (43 mil milhões de euros).

Identifica-se ainda o investimento na infraestrutura a nível local, já que a competitividade do TC, depende entre outros, da sua capacidade para garantir a fiabilidade do serviço e dos tempos de percurso, iguais ou inferiores aos associados ao veículo automóvel. Assume aqui particular relevância a criação de redes eficientes de corredores BUS, a atribuição de prioridade ao BUS nos cruzamentos, ou mesmo na afetação de ruas e avenidas, unicamente à circulação de BUS.

2.3 Os modos suaves

Uma das soluções comumente discutida na vasta literatura, bem como nas estratégias definidas pela Comissão Europeia e respetivos Estados-membros, sobre mobilidade sustentável, passa pela transição modal em que se inserem os chamados modos de transporte suaves.

Após esta análise relativa à repartição modal, percebe-se que, de facto, urge mudar o paradigma. Os modos de transporte suaves são uma das grandes apostas para se atingir as metas definidas para 2050 no que diz respeito à neutralidade carbónica. Os modos suaves segundo a Resolução da Assembleia da República n.º 3/2009, de 5 de fevereiro são modos de transporte com velocidades reduzidas, com volume reduzido, com impactes na via pública pouco significativos e com zero emissões de GEE para a atmosfera, tais como as deslocações a pé, bicicleta, patins, skates, trotinetas ou outros modos semelhantes. Os modos suaves ganham cada vez mais relevância, já que contribuem para a redução do impacto negativo dos transportes, aumentando, por outro lado, o bem-estar e a saúde dos cidadãos. (IMT, 2012).

Essa consciencialização e a necessidade de Portugal dar passos relevantes para a promoção do modo ciclável, ainda pouco enraizado no nosso país, justificou o desenvolvimento recente da Estratégia Nacional para a Mobilidade Ativa Ciclável 2020-2030 (Resolução do Conselho de Ministros n.º 131/2019, de 2 de agosto), no âmbito da qual são estabelecidas metas exigentes para 2030, destacando-se: (1) Quota modal de viagens em bicicleta no território nacional de 7,5% e nas cidades de 10%; (2) Extensão total de ciclovias de 10 000 km. A concretização desta estratégia procura responder aos compromissos nacionais e internacionais assumidos por Portugal no domínio da sustentabilidade, dos quais se destaca o Acordo de Paris sobre as alterações climáticas e os objetivos de Desenvolvimento Sustentável adotados no contexto da Organização das Nações Unidas. Nesse âmbito prevê 51 medidas de promoção da mobilidade ativa ciclável, nas áreas temáticas da legislação, investigação e financiamento.

Essa estratégia veio reforçar as tendências já anteriormente traduzidas no Plano Nacional de Promoção da Bicicleta e Outros Modos Suaves 2013-2020 (IMT, 2012), mas que talvez por falta de financiamento, pouco reflexo teve em termos operacionais. Segundo este plano, nas deslocações até 1km, o modo pedonal será o mais eficiente, seguindo-se a bicicleta, enquanto nas deslocações até 4km a bicicleta será a mais competitiva e o TI o modo mais rápido (considerando o tempo de acesso até ao veículo e o tempo que é gasto na procura de estacionamento).

Atualmente, para além das bicicletas e do modo pedonal, surgem outros modos de deslocação igualmente sustentáveis e eficientes energética e ambientalmente, nomeadamente as trotinetes elétricas. Este modo de transporte, tal como as bicicletas elétricas, constituem a designada micromobilidade. Este conceito refere-se a viagens de curta distância, que podem ser realizadas através de veículos de pequeno porte ou leves, em particular, os veículos motorizados de duas rodas (Eccarius & Lu, 2020). Neste âmbito, enquadram-se as trotinetas, recentemente disseminadas em vários centros urbanos de média e grande dimensão. De acordo com o Código da Estrada (aprovado pelo Decreto-Lei n.º 114/94, de 3 de maio, na sua última alteração publicada pela Lei n.º 72/2013, de 3 de setembro), nomeadamente o artigo 112.º, são equiparados a velocípedes as trotinetas com motor elétrico e, portanto, significa que estão sujeitas às mesmas regras que os velocípedes. As trotinetas elétricas surgem, assim, como um modo de transporte que pode ser partilhado - *electric scooter sharing* - já que as pessoas podem facilmente alugar e depois devolver, em diferentes estações dentro de uma área de um determinado serviço, recorrendo a aplicações tecnológicas, acessíveis através dos *smartphones* (Baek et al., 2021).

Neste contexto, e ainda numa tentativa de promover a mobilidade sustentável, principalmente os modos suaves, foram adotados sistemas de partilha, como por exemplo serviços de *bike-sharing* e *rent-a-bike*. Estes conceitos baseiam-se na necessidade de ser oferecido em meio urbano, bicicletas, ou modos equiparáveis, de uso público e partilhado, a preços acessíveis

(Soriguera & Jiménez-Meroño, 2020). Para além dos benefícios ambientais, e em particular o, facto deste tipo de deslocação ser completamente dissociado dos combustíveis fósseis, a adesão a este tipo de mobilidade envolve ainda benefícios para a saúde, já que se incentiva à atividade física (Bergantino et al., 2021). Em Portugal existem vários serviços de partilha de bicicletas, como por exemplo a Gira, em Lisboa, ou a BUGA, em Aveiro. Em alternativa ao transporte público e ao automóvel, estes serviços disponibilizam aos utilizadores, bicicletas clássicas (sem motor) e elétricas para que possam disfrutar e realizar as suas viagens (GIRA@, 2021).

Existe uma outra organização, a NUMO, que tem como objetivo ajudar as cidades a promoverem os serviços de transportes mais sustentáveis, incluindo os princípios de mobilidade compartilhada (NUMO@, 2021). Através da sua página na *internet* é possível aceder ao *NUMO New Mobility Atlas*. Trata-se de uma plataforma baseada em dados e que mapeia, por todo o mundo, a proliferação de novas formas de mobilidade, incluindo a micromobilidade. Cobre 626 cidades, 53 países e 127 operadores de serviços de mobilidade. Através dela, consegue-se facilmente perceber em que locais se consegue aderir aos estes tipos de serviços (*bike-sharing e electric scooter sharing*).

A integração destes modos no sistema de transportes torna-se necessária e imperiosa. Para além da adoção deste tipo de intermodalidade, convém garantir aos usuários que estes terão condições para circular no espaço público, com segurança e conforto. Para tal é necessária uma planificação e estruturação da rede urbana de forma a assegurar as devidas condições de circulação (ver Figura 2.1).



Figura 2.1 – Ciclovias urbanas (a e b) Coimbra; (c) Percurso da Estação da Figueira da Foz (DI@, 2021).

Embora se verifique cada vez mais o desenvolvimento deste tipo acessibilidade, as políticas de desenvolvimento territorial, assentes em práticas de extensão urbana, da dispersão e da baixa densidade, afastam no espaço os locais de residência dos locais de trabalho ou outros tipos de serviços o que dificulta a utilização da micromobilidade. Para mitigar este problema importa promover um forte investimento na intermodalidade, nomeadamente em sistemas como *Park&Ride*, *Park&Metro*, ou ainda *Bike&Ferrovia*, tal como já foi referido anteriormente.

Um outro conceito que tem estado muito em voga e que vem suportar e complementar esta linha de pensamento trata-se dos *15-minutes cities*. Segundo (CNU@ 2021) o conceito pode ser definido como um espaço geograficamente ideal, onde a maioria das necessidades humanas estão localizadas a uma distância em que a viagem se realiza em apenas 15 minutos, a pé ou de bicicleta. De facto, esta perspetiva vem, de certa forma, responder a algumas das metas impostas relativas à neutralidade carbónica em 2050. Existem já várias cidades que integram este tipo modelo urbanístico, como a cidade de Paris (França), Madrid (Espanha), Milão (Itália) e ainda Melbourne (Austrália). Tornar as cidades acessíveis e onde idealmente consigam garantir aos seus cidadãos todos os bens essenciais a uma distância que não demore muito mais que 15 minutos preferencialmente a pé ou de bicicleta (e quando tal não for concebível usufruir da intermodalidade) é sem dúvida uma solução forte e que vem combater na luta contra as mudanças climáticas.

Os modos suaves são sem dúvida uma solução eficiente e ecológica e devem ser postos em primeiro plano quando são discutidas as estratégias sobre mobilidade urbana sustentável promovendo as deslocações a pé e de bicicleta.

2.4 O veículo individual

Foram discutidas, anteriormente, as várias formas alternativas de deslocação, e o seu papel na prossecução das novas políticas de mobilidade. Também o transporte individual que, apesar deste “novo” estigma que enfrenta, não deixa de ser um papel vital no funcionamento global e integrado do sistema de transportes urbanos.

Tal como já foi mencionado, muitos territórios enfrentam atualmente, um grande desafio relacionado com a pressão para alargamento do perímetro urbano e a consequente dispersão dos espaços urbanos com criação de espaços de baixa densidade. Existe uma tendência para a dispersão da ocupação residencial bem como, para um afastamento dos centros urbanos da maior parte das atividades comerciais e outros serviços (Seco & Bastos, 2010). Como resultado, o veículo individual é na maioria das vezes a primeira escolha, já que o sistema de transportes públicos, por vezes, se revela economicamente insustentável e portanto com oferta de um serviço insuficiente (Seco & Bastos, 2010). Nesse sentido, o veículo particular desempenha nestes territórios, um papel crucial na vida dos cidadãos, dando a resposta direta às necessidades da população.

É assim aceitável que em áreas suburbanas e rurais, cobertas por sistemas de transportes públicos mínimos ou insuficientes, os utilizadores possam recorrer ao veículo individual, assumindo custos financeiros e ambientais, francamente menores para a sociedade. Apesar disso, considera-se que esta adequação termina nas fronteiras do espaço urbano, abrangidos pela rede dos transportes públicos.

Neste sentido, torna-se indispensável investir nos chamados sistemas de *Park and Ride* (P&R). Trata-se de uma rede de parques de estacionamento localizados em zonas suburbanas, tipicamente bem servidos pela rede de transporte público, como o autocarro, metro ou o comboio. O objetivo é convidar as pessoas (normalmente as que vêm da periferia dos centros urbanos ou outras áreas mais afastadas) que optam por viajar no veículo particular, a largá-lo nesses mesmos parques e continuarem as suas viagens para o centro da cidade através do sistema de TC (Macioszek & Kurek, 2020). Estes parques, devem por isso ser associados a taxas reduzidas de forma a tornarem-se competitivos em relação aos custos associados à viagem em TI. É ainda importante salvaguardar que os circuitos de acesso ao centro urbano por TC, sejam rápidos e inferiores aos habitualmente associados ao TI, devendo para isso haver investimento na infraestrutura. Na Europa, cidades como Amesterdão, Praga, Viena e Berlim já integram sistemas de P&R sendo um dos grandes benefícios do seu uso, a diminuição do congestionamento dentro dos centros urbanos (Klos, 2016) e da correspondente poluição atmosférica (Vilke & Tadić, 2020), bem como a poupança de tempo à procura de um estacionamento junto dos destinos finais (Mills & White, 2018). Também em Coimbra, foi recentemente relançado o sistema ECOVIA, o qual e apesar de apresentar um conjunto de problemas estruturais de base, visa atingir objetivos similares.

De facto, o êxito e adesão, a este tipo de sistema, depende de outros fatores. Para isso importa que, paralelamente à oferta de P&R sejam adotadas soluções dissuasoras ao uso do TI, com particular destaque para o controlo do sistema de estacionamento. Segundo o Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão viária: *Princípios Básicos de Organização de Redes Viárias* existem outras soluções que têm o mesmo propósito, e tais soluções passam, por exemplo, no aumento de forma generalizada o custo de acesso ao centro, através de portagens e/ou ainda através da implementação de redução de velocidade, aumentando os tempos de viagens (Seco et al., 2008). Também o controlo do acesso a veículos automóveis a locais ou zonas específicos, tais como zonas residenciais e espaços centrais, podem ser medidas a aplicar (Marshall, 2000). Segundo o mesmo autor, na cidade de Enschede, na Holanda, foi restringido o acesso à área central por TI, sendo condicionado a um grupo específico de utilizadores (como residentes e comerciantes locais) ou através de modos alternativos, como a bicicleta ou a pé (Marshall, 2000). Também (Seco & Bastos, 2010), defendem que o acesso a zonas históricas, deve ser garantido essencialmente pelo transporte público e pelos modos suaves, como a bicicleta, a trotinete e ainda a pé. Apenas os residentes, pessoas prioritárias com alguma doença ou deficiência e ainda os veículos de carga e descarga de mercadoria, podem aceder a estes locais com os seus veículos particulares.

2.5 Outras formas de transporte

O IMT apresenta na sua “Coleção de Brochuras Técnicas e Temáticas” conteúdos, definições e instrumentos relativos aos transportes e mobilidade. Desta forma, os transportes podem ser

classificados consoante os aspetos tecnológicos, modais e espaciais, sendo que as classificações modais e tecnológicas se relacionam conforme é estabelecido no Quadro 2.1:

Quadro 2.1- Relação entre a classificação modal e a classificação tecnológica (IMT, 2011).

Tipo de Serviço	Transporte não motorizado	Transporte Motorizado	Partilha de Infraestrutura
Transporte Individual	<ul style="list-style-type: none"> • Peão; • Velocípede (bicicleta, outros). 	<ul style="list-style-type: none"> • Motociclo, ciclomotor; • Veículo ligeiro (privado); • Veículo pesado. 	Em sítio banal
		<ul style="list-style-type: none"> • Táxi (público) 	
Transporte coletivo		<ul style="list-style-type: none"> • Barco; • Ferry; • Navio; • Helicóptero; • Avião. 	Em sítio banal ou próprio (ou via reservada)
		<ul style="list-style-type: none"> • Táxi coletivo; • Minibus; • Autocarro; • Autocarro articulado; • Autocarro com nível de serviço elevado; • Trolley • Trolley articulado; • Elétrico. 	
		<ul style="list-style-type: none"> • Funicular/Elevador sobre carril; • Metro ligeiro de superfície; • Metro automático; • Metro; • Tram-train; • Monocarril; • Automated People Mover – APM; • Comboio; • Teleférico; • Sistema hectométrico (tapete rolante, escada rolante, telecabine); • Elevador por cabo. 	

No Quadro 2.1 percebe-se que existem diferentes modos de transporte e que estes podem-se diferenciar entre transporte individual e transporte coletivo, sendo que cada um deles (dependendo da existência ou não de motor), se sectoriza em função da infraestrutura que irá utilizado.

Tendo em conta todos os modos apresentados e sabendo que cada um é responsável por uma percentagem de emissões de GEE libertados diariamente para atmosfera, importa salientar que a sua preservação e evolução tem de convergir no sentido da redução e de uma mobilidade mais ecológica. O setor rodoviário representa 96% das emissões dos transportes, onde a ferrovia, a

aviação e a navegação nacionais contribuem apenas com 4% das emissões. O automóvel individual surge com 60% das emissões relativamente ao total do transporte rodoviário (República Portuguesa et al., 2019).

Neste sentido, o Roteiro Para a Neutralidade Carbónica 2050 prevê mudanças significativas nos vários tipos de transporte, Sendo a eletrificação dos veículos, um dos principais objetivos. Para além disso afirma ainda que para além do uso de veículos elétricos, o uso partilhado dos veículos e/ou a automação, serão grandes apostas no que diz respeito ao ganho de eficiência, com maiores taxas de ocupação em cada veículo – mais passageiros/viagem e mais viagens/dia – deixando a via pública mais liberta.

Os veículos elétricos apresentam-se como sendo uma solução, do ponto de vista da libertação de GEE, melhor e mais sustentável, no entanto, existem ainda algumas dúvidas sobre todo o ciclo de vida destes, mais propriamente das suas baterias. Segundo (EDF@, 2021), as emissões que são geradas durante a sua produção, são superiores às de um veículo convencional, devido ao facto, das baterias serem fabricadas a partir de íon-lítio. Afirma ainda que, mais de um terço das emissões de CO₂ emitidas durante o ciclo de vida de um veículo elétrico, têm maior percentagem durante a fase de produção do veículo. No entanto, este paradigma está a mudar, sendo que a tecnologia tem avançado para tentar combater esta questão.

Quanto aos sistemas de mobilidade partilhada, estes são de facto uma solução que tem vindo a enraizar-se. É um termo muito usado para descrever uma série de diferentes serviços de transporte, cujos veículos são partilhados (por exemplo o automóvel, motociclo ou bicicleta) em momentos diferentes ou ainda o mesmo veículo é partilhado por vários passageiros, durante uma viagem (Butler et al., 2020). Alguns exemplos destes serviços são o *carsharing*, o *carpooling* e ainda *bike-sharing* (referido anteriormente).

Sabe-se ainda que nas regiões mais afastadas dos centros urbanos, nomeadamente nas regiões de baixa densidade populacional, o acesso ao transporte público normalmente é escasso e pouco frequente e nestas situações, o veículo particular torna-se uma chave fundamental. No entanto nem todos têm acesso a este, em particular determinadas faixas etárias, nomeadamente os idosos. Como tal, o sistema de transportes tem como missão, cobrir todas as áreas urbanas, incluindo as que apresentam escassez de ocupação, independentemente se é ou não economicamente sustentável (Seco & Bastos, 2010). É nesta linha de ação, que nasce o conceito de *transporte de passageiros flexível* e este pode ser caracterizado pela sua flexibilidade perante as necessidades dos cidadãos que o vão recorrer e, ainda, por este ser também flexível relativamente a horários, paragens ou tipologia do veículo rodoviário utilizado (IMT@, 2021b). O transporte de passageiros flexível pode melhorar a mobilidade para pessoas com necessidades especiais, como por exemplo os idosos ou deficientes, já que os requisitos destes usuários são específicos e semelhantes e a procura é relativamente pequena; por exemplo quando se trata do

transporte de pacientes, o destino final irá ser o mesmo, provavelmente um hospital ou centro de saúde (Velaga et al., 2012).

2.6 Os sistemas de informação e de bilhética

Tornar os serviços de transporte atrativos aos cidadãos, não passa apenas por disponibilizar infraestruturas. A qualidade bem como a facilidade de acesso à informação relativamente ao sistema de transporte, são fatores extremamente relevantes e que podem ser determinantes na escolha de um determinado modo de transporte. Facilitar ao viajante o acesso a informações sobre a viagem, como por exemplo a duração, horários e custo, é garantidamente uma das chaves para promover a atratividade e uso do sistema de transportes.

A informação pode ser disponibilizada de várias formas. A forma mais tradicional é através de informação estática que é afixada em determinados locais (paragens, interfaces, veículos); a distribuição de folhetos em postos públicos é outra forma de garantir a informação; existem ainda formatos que permitem a passagem de informação em tempo real, recorrendo para isso a tecnologias de informação e comunicação (TIC), tais como painéis e quiosques eletrónicos em paragens, interfaces ou em postos de informação (Santos & Vargas, 2011). Hoje em dia, é ainda possível aceder a este tipo de informação através dos *smartphones* e dos computadores (accedendo à internet), em casa, no local de trabalho, nas ruas, nas paragens e interfaces de transportes ou nos próprios veículos (Santos & Vargas, 2011). Os *smartphones*, têm-se destacado cada vez mais neste aspeto, já que através dele se consegue chegar a vários tipos de informação e de serviços e um exemplo é o *Ride-hailing* (ex: Uber, Bolt). Através da aplicação no respetivo *smartphone*, o utilizador consegue escolher qual é o veículo a que quer recorrer, já que é disponibilizada informação sobre o condutor, a marca do veículo e ainda a classificação que está atribuída ao motorista. Para além disto, é ainda fornecida, em tempo real, informação respeitante ao tempo a que esse serviço está do utilizador ou cliente.

Por último, importa referir sobre os sistemas de bilhética, já que também os serviços de venda são fulcrais para o bom desempenho dos serviços de transportes. A facilidade de aquisição à distância, dos títulos de transporte e a garantia de acesso aos diferentes operadores em serviço, com o mesmo bilhete, são alguns exemplos de medidas essenciais a garantir neste campo (Parlamento Europeu, 2015). Neste sentido é introduzido o conceito de bilhética integrada, assente na obtenção de um bilhete único que permite aos utilizadores realizar a viagem pretendida por recurso sequencial a diferentes modos de transporte ou a diferentes operadores (Parlamento Europeu, 2012).

Em Portugal, quer a área metropolitana de Lisboa quer do Porto (Cartões Viva Viagem e Lisboa Viva, em Lisboa e o Andante no Porto), contam já com um sistema que permite aos utilizadores que, com o mesmo título, possam viajar num conjunto de serviços oferecidos por

operadores aderentes. Este sistema revelou-se central à operacionalização do PART e à definição de um modelo de repartição de verbas, naquelas duas áreas metropolitanas.

A plataforma de gestão de bilhética integrada é habitualmente associada e integrada a um sistema de informação que envolve a implementação de mecanismos seguros para as transações relacionadas com a bilhética. Em complemento, este tipo de sistema, disponibiliza um conjunto de recursos informáticos que permitem a todos os interessados recolher informação e criar serviços associados à mobilidade numa plataforma integradora de soluções e de serviços tecnológicos para a mobilidade e para os transportes.

Em Coimbra, encontra-se atualmente aberto a concurso, a implementação de um sistema de bilhética integrada, que irá agregar o uso combinado dos serviços dos SMTUC, da Metro Mondego e dos operadores privados (CIVITAS@ 2021).

2.7 Considerações Finais

A promoção e integração da intermodalidade e da multimodalidade é fundamental para se atingir uma mobilidade sustentável. Os transportes públicos são elementos cruciais nesta perspetiva, pelo que há que garantir a sua preservação, manutenção e inovação. Nesta vertente de mobilidade sustentável, também os modos suaves desempenham um papel importante, sendo que estes devem ser igualmente promovidos. Para se atingirem as metas impostas pela UE, várias medidas são implementadas, sendo a promoção destes modos crucial.

Todos os modos de transporte assumem um papel relevante no sistema de transportes, sendo para isso fundamental serem definidos os domínios privilegiados de utilização de cada um deles, bem como a forma como todos eles devem ser integrados e articulados de forma a melhorar a eficiência e desempenho global do sistema.

3 IDENTIFICAÇÃO E ESTIMAÇÃO DOS IMPACTES AMBIENTAIS NO SETOR DOS TRANSPORTES

3.1 Descritores e indicadores

O setor dos transportes é dos que mais contribui para a geração de GEE, pelo que promover o seu desenvolvimento sustentável é um dos maiores desafios sociais. Segundo o relatório da Comissão Mundial sobre o Ambiente e Desenvolvimento intitulado *Our Common Future* (World Commission on Environment and Development, 1987), o desenvolvimento sustentável pode ser definido como o desenvolvimento que responde às necessidades do presente sem, no entanto, comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem às suas próprias necessidades. De forma a garantir este processo, devem ser implementadas estratégias que garantam a monitorização, a gestão e a utilização racional dos recursos.

O setor dos transportes traz consigo, problemas e questões relativas ao seu desenvolvimento sustentável, sendo que esses problemas se refletem nos impactes ambientais e se traduzem em impactes sociais e económicos. No que diz respeito aos impactes ambientais, sabe-se que o setor dos transportes afeta negativamente vários setores, como por exemplo o da água, do ar (poluição atmosférica como consequência das emissões dos GEE) e ainda do ruído (Rahman & Van Grol, 2005). Em termos sociais e económicos, os impactes resultam principalmente quando o acesso à mobilidade é deficiente ou inexistente, devido ao seu custo, às deficiências do sistema e ainda do facto de algumas áreas serem mal servidas (Rahman & Van Grol, 2005).

Os indicadores assumem-se essenciais à caracterização e quantificação desses impactes, abrangendo, tipicamente, as três áreas principais: económica, social e ambiental (United Nations, 1992). Segundo o relatório *Environmental Indicators: Typology and Use in Reporting* (EEA, 2003), um indicador «é um valor representativo que é observado do fenómeno em estudo» (EEA, 2003) e que quantificam dados ou informação de diferentes fontes, simplificando, desta forma, conteúdo que pode ajudar na descoberta de fenómenos mais complexos. Os indicadores ambientais fornecem informações relevantes à cerca dos fenómenos mais típicos e críticos sobre a qualidade ambiental sendo que, permitem monitorizar o progresso que é feito, após a aplicação das políticas ambientais (EEA, 1999).

A nível internacional e nacional, existem sistemas de indicadores que se focam sobretudo na mobilidade e a sua sustentabilidade. O projeto *Sustainable Mobility, policy Measures and Assessment* (SUMMA), que foi elaborado a pedido da Comissão Europeia, tem como objetivo apoiar os governos e os seus respetivos membros, a estabelecer políticas, a nível económico, social e ambiental, tendo por base, as informações retiradas dos indicadores. Neste caso, estes indicadores são direcionados para a mobilidade. Segundo a SUMMA, podem ser definidos

“resultados de interesse” do sistema de transporte. Estes explicam os tópicos que são relevantes, quando se está a observar os efeitos dos transportes na sociedade. Para definir os “resultados de interesse”, devem ser reconhecidos, em primeiro lugar, os componentes necessários que, em conjunto, afetam o desempenho de sustentabilidade do sistema de transporte, sendo que estes devem ser monitorizados para avaliar o seu estado (Rahman & Van Grol, 2005). Estes componentes, são definidos segundo as três dimensões de sustentabilidade: interesses económicos, interesses sociais e ainda interesses ambientais. No Quadro 3.1, estão selecionados, pela SUMMA, os “resultados de interesse” nas três dimensões:

Quadro 3.1 - "Resultado de interesses " selecionados (Rahman & Van Grol, 2005)

“Resultado de interesses” Económicos	“Resultado de interesses” Sociais	“Resultado de interesses” Ambientais
Acessibilidade; Custos operacionais dos transportes; Produtividade/ Eficiência; Custos económicos; Benefícios económicos.	Acessibilidade e acessibilidade monetária; Segurança e proteção Boa forma e saúde; Habitabilidade; Equidade; Coesão social; Emprego no setor dos transportes.	Recursos usados; Intrusão ecológica; Emissões atmosféricas; Emissões para o solo e água; Ruído; Resíduos.

Na presente dissertação foram selecionados determinados indicadores, com o fim de se analisar os impactes ambientais associados ao setor dos transportes.

3.1.1 Recursos hídricos

Uma das principais consequências do aumento das emissões dos GEE na atmosfera é o aquecimento global. O Painel Intergovernamental das Alterações Climáticas (IPCC) aponta a atividade antropogénica como a principal causa deste incremento, sendo que o setor dos transportes, como já mencionado anteriormente, é dos que mais contribui nesse sentido. As alterações climáticas geram impactes nos sistemas naturais e humanos por todo o planeta, incluindo os oceanos e todo o sistema hídrico. Alterações na precipitação, o degelo e a acidificação da precipitação estão a alterar os sistemas hidrológicos em várias áreas, afetando os recursos hídricos em termos de quantidade e qualidade (IPCC, 2014). O aumento de temperatura global, faz acentuar certos eventos naturais, como a intensificação e a frequência da precipitação em várias áreas do planeta. Este aumento de temperatura médio, ao aquecer as águas dos oceanos, provoca o degelo, fazendo aumentar o nível médio das águas do mar. Como resultado da libertação dos GEE, provenientes em grande parte dos transportes, verifica-se ainda a acidificação da precipitação (IPCC, 2014) e, por inerência, das águas do mar.

Para além das emissões dos GEE, existe uma outra problemática que afeta negativamente os recursos hídricos, sendo ela o derrame de óleos, como por exemplo de petróleo (Odisu et al., 2021) e os resíduos de borracha, fruto das travagens. Estes acidentes afetam drasticamente o

ambiente marinho, influenciando fortemente várias espécies marinhas assim como a saúde humana (S. D. Wang et al., 2008).

3.1.2 Qualidade do ar

Um dos impactes mais significativos relacionado com o setor dos transportes, é o da poluição atmosférica. Verifica-se, principalmente nas grandes cidades, níveis de poluição bastante acentuados que prejudicam não só o ambiente, mas também a saúde humana. A queima dos combustíveis fósseis, presente na maioria das atividades humanas, incluindo os transportes, acaba assim por contribuir para o aumento dos GEE. É importante salientar que existem GEE que estão naturalmente presentes na atmosfera sendo eles o vapor de água, o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e ainda o ozono (O_3) (Kazancoglu et al., 2021). Estes gases, protegem a Terra de arrefecer, absorvendo parte da radiação que é emitida pela superfície do planeta. Contudo, tem-se verificado ao longo dos anos, um aumento da concentração não só destes gases, mas também de outros, pelo que o seu excesso se repercute num incremento significativo na temperatura global do planeta. Salienta-se que este aumento é da responsabilidade, em grande parte, do setor dos transportes, sendo que alguns dos gases libertados por estes são o monóxido de carbono (CO), óxido de enxofre (SO_x) e o óxido de nitrogénio (NO_x) (Kazancoglu et al., 2021).

A Agência Europeia do Ambiente (AEA) listou exemplos de indicadores, para suporte do desenvolvimento de políticas ambientais e estratégias e com o fim de controlar a poluição e os gases emitidos para a atmosfera. Um dos indicadores é relativo às “Emissões de poluentes atmosféricos provenientes dos transportes” que tem por base uma avaliação da evolução das emissões de CO, NO_x , compostos orgânicos voláteis não metânicos (COVNM), SO_x e ainda as PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$ (matéria particulada) (AEA@, 2021a). Nesta avaliação, constata-se que a emissão por parte de todos os tipos de transportes, na Europa, decresceu desde 1990. Entre 1990 e 2017, as emissões de NO diminuíram 40%, as de SO_x diminuíram 66% e as de CO e COVNM diminuíram 87%. Entre 2000 e 2017, as emissões de matéria particulada com um diâmetro menor ou igual a $2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$) diminuíram 44% (AEA@, 2021a). O transporte rodoviário continua ainda por ser responsável pela emissão dos principais gases poluentes, à exceção do SO_x . As emissões de NO_x , em particular com origem em veículos de passageiros e carrinhas, geralmente ainda excedem o *euro emissions standart* ou “Normas EURO” que define os limites aceitáveis para as emissões de exaustão (gases de escape) (*exhaust emissions*) dos veículos novos que são vendidos nos Estados Membros da UE (AEA@, 2021a).

Um outro indicador da listagem de indicadores da AEA é relativo às “Emissões de gases com Efeito de Estufa provenientes dos transportes na Europa”. Neste indicador é mostrada a evolução temporal das emissões de GEE e ainda uma projeção das emissões para 2035. As emissões de GEE são medidas em milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (Mt

CO₂e) (AEA@, 2021b). É referido que no setor dos transportes a contribuição para a emissão dos GEE foi mais significativa relativamente aos outros setores, pelo que é importante que este cumpra os objetivos de reduzir as emissões. De acordo com a avaliação desenvolvida, as emissões com origem nos transportes, aumentaram em 2019 em 0,8% (não incluindo o transporte marítimo), sendo que em 2018 tinha aumentado 0,9%, pelo que estas taxas foram as mais lentas desde 2014 (AEA@, 2021b). As projeções nacionais indicam ainda que até 2030 as emissões de GEE tenderão a ter uma diminuição pouco significativa, relativamente aos níveis atuais e que é muito difícil que o setor dos transportes consiga alcançar os objetivos pré-definido para atingir a neutralidade carbónica, até 2050 (AEA@, 2021b).

A agravar, a emissão destes poluentes para a atmosfera, particularmente a matéria particulada (PM₁₀ e PM_{2,5}) afetam a saúde humana, podendo desencadear doenças respiratórias e cardiovasculares e assim pôr em causa a vida humana (Ribeiro et al., 2021; Trevisan & Bordignon, 2020).

3.1.3 Ruído

Para além da poluição da água e da atmosfera, importa ainda referenciar a poluição sonora. Principalmente nos centros urbanos de grande dimensão, o ruído apresenta-se como um fator que pode afetar negativamente a saúde e o bem-estar da população. A crescente expansão demográfica e populacional dos centros urbanos, vem acentuar cada vez mais esta problemática (Can et al., 2020). Tipicamente é dada mais atenção ao ruído proveniente do tráfego rodoviário, já que o automóvel individual é ainda o modo de transporte mais utilizado, no entanto, o comboio, metro e aeroportos começam a ganhar relevância, relativamente ao ruído, já que são cada vez mais procurados em meio urbano (Guarnaccia et al., 2017). Neste sentido, importa reconhecer as principais consequências desta forma de poluição. O ruído afeta a saúde humana podendo desencadear doenças cardíacas, perdas auditivas, acufeno (zumbido nos ouvidos) e ainda problemas relacionados com saúde mental e perturbações do sono (Lan et al., 2020).

A AEA na sua lista de indicadores, expõe o indicador que analisa a “Exposição da população europeia ao ruído ambiente”. Segundo a AEA este indicador representa o número médio de pessoas na europa que estão sujeitas a níveis de ruído ambiente que excedem os níveis de indicadores de ruído da Diretiva “Ruído ambiente” (2002/49/CE) sendo ele aplicado a áreas urbanas e rurais (AEA@, 2021c). As unidades do indicador são relativas ao L_{den} que se refere ao período médio anual de exposição diurno, entardecer e noturno e ao L_{night} que está associado às perturbações do sono, sendo que estes se medem em decibéis (dB – unidade de medida do som) (AEA@, 2021c).

Cerca de 113 milhões de pessoas dos 28 estados-membros da UE (publicação de 2019, quando ainda faziam parte 28 estados-membros) estão expostas a níveis de ruído (L_{den}) maiores ou

iguais a 55dB, provenientes do tráfego rodoviário e destes cerca de 36 milhões de pessoas estão expostas a pelo menos 65 dB de L_{den} (ruído muito elevado) (AEA@, 2021c).

3.1.4 Uso do solo

A expansão urbana, se não for devidamente planeada e gerida poderá ter consequências significativas, tanto a nível ambiental como de saúde pública. Ao longo dos últimos cinquenta anos tem-se verificado que a população se tem vindo a concentrar tendencialmente nos centros urbanos, onde se concentram as oportunidades de emprego, o que se tem traduzido no crescimento das zonas suburbanas onde quer os terrenos quer as habitações são mais baratos comparativamente ao centro (EEA, 2019c).

O uso do solo está intrinsecamente ligado a todas estas atividades humanas que obrigam à deslocação e à mobilidade. A construção das infraestruturas requer a ocupação de solo e o seu uso implica, na maioria das vezes, que os habitats sofram transformações de uma forma negativa (EEA, 2015). Segundo o relatório *The first and last mile – the key to sustainable urban transport* (EEA, 2019c), o grau de fragmentação, devida à expansão urbana e consequentemente de infraestruturas rodoviárias, difere entre os vários países do espaço económico europeu, sendo que nos países Benelux, Malta, Alemanha e França é observada uma maior percentagem de fragmentação, com 60 a 93% da área ocupada (EEA, 2019c). Segundo a (AEA@ 2021d), o grau de fragmentação é um indicador representativo da densidade de território que é contínuo, ou seja, que não é fragmentado (malhas). O cálculo baseia-se na divisão do número de malhas por uma unidade de área e, se o território ou a paisagem não estiver fragmentada (paisagem contínua), a densidade da malha é 1. Os estudos realizados tendo em conta este indicador, relatam que em 2015, cerca de 25,8% da paisagem na UE estava fortemente ou muito fortemente fragmentada (AEA@, 2021d).

Ainda neste contexto, há que salientar que os transportes não se repercutem apenas em estruturas rodoviárias, como as estradas ou as ferrovias, mas também em parques de estacionamento e zonas reservadas aos transportes (EEA, 2019c). Chegou-se à conclusão que muito solo urbano é ocupado com veículos estacionados, espaço que poderia ser afetado a outras funções ou formas alternativas de mobilidade não motorizada ou ainda para o crescimento de espaços verdes (EEA, 2019c).

3.1.5 Sociais

Numa perspetiva social, é importante fazer uma análise dos parâmetros que estão intrinsecamente relacionados com este indicador. A existência de sistemas de transportes é essencial para se atingir uma sociedade que seja equilibrada, segura, próspera e estável.

Relativamente à acessibilidade aos meios de transporte, pode-se depreender que o acesso a estes é de extrema importância e que a acessibilidade é um fator bastante relevante quando se faz

uma análise social. Garantir o acesso e a mobilidade a todos, independentemente da classe social e económica deve ser uma prioridade, numa sociedade que se quer inclusiva, o que deverá justificar o desenvolvimento de estudos que permitam salvaguardar o serviço da forma mais eficiente (Lobo et al., 2020). Uma análise focada na acessibilidade pode ser particularmente complexa, podendo envolver vários aspetos. Os indicadores de acessibilidade são capazes de medir os benefícios que as famílias/agregados e as empresas têm ao usufruir das infraestruturas dos transportes locais (Vulevic, 2016). Um estudo elaborado pelo mesmo autor (Vulevic, 2016), e analisou vários indicadores relacionados com a rede de transportes, serviços e acessibilidade. No que respeita aos indicadores de acessibilidade estes podem englobar aspetos como o custo da viagem, a acessibilidade diária, o potencial de acessibilidade e ainda o tempo de viagem (Vulevic, 2016). É referido ainda que estes indicadores de acessibilidade incluem uma análise relativa à intermodalidade, às desigualdades sociais (desigualdade na acessibilidade entre classes sociais) bem como nas desigualdades que se fazem sentir entre as várias zonas (zonas centrais, periféricas, rurais, etc.) (Vulevic, 2016).

A transferência modal, no seguimento dos indicadores sociais, é um aspeto que deve também ser alvo de análise. Segundo (EEA, 2015), o transporte individual continua a ser o modo dominante relativamente ao transporte de passageiros, no entanto, desde 2009, a distância média percorrida recorrendo ao transporte individual diminuiu. Ainda neste contexto, um relatório elaborado por (Kaparias & Bell, 2011) e intitulado *Key Performance Indicators for traffic management and Intelligent Transport Systems* tem como principal objetivo a identificação e a avaliação do desempenho de indicadores chave (*Key Performance Indicators (KPIs)*) e estes irão apoiar na gestão do tráfego e nos sistemas de transporte inteligente e expor diretrizes que conduzam à sua aplicação. São discutidos quatro temas estratégicos – eficiência do tráfego, segurança, inclusão social e uso do solo e ainda a redução da poluição - e dentro de cada um dos temas são apresentadas medidas de desempenho que irão ajudar na concretização das metas e objetivos (Kaparias & Bell, 2011). Uma das medidas de desempenho apresentadas é relativa à transferência modal e ao tempo de viagem origem/destino, que são calculados através de um modelo de transporte que disponibiliza informações relativas aos tempos de viagens entre os nós da rede (Kaparias & Bell, 2011). A mesma medida pode ser aplicada a diferentes modos e para diferentes horas do dia. Uma outra medida de desempenho é relativa também à transferência modal, que é calculada através de uma pesquisa direcionada aos viajantes e através de um modelo de procura de transporte que fornece *outputs* sobre a relação entre viagens em diferentes modos (Kaparias & Bell, 2011). Ainda relativamente às medidas de desempenho propostas, é analisado o tempo de viagem que é calculado através de sensores locais, que fornecem dados sobre a velocidade e que servem para posteriormente calcular os tempos de viagem (Kaparias & Bell, 2011).

Por fim, importa realçar que o aparecimento dos *smartphones* e o rápido acesso a aplicações desenvolvidas para facultar informações e facilitar o acesso à bilhética e aos serviços

disponíveis de transportes, abrem novas oportunidades beneficiando assim, a sociedade (Pomoni et al., 2020).

3.1.6 Económicos

O crescimento económico, a expansão urbana e o tráfego rodoviário mais intenso, são alguns dos fatores que afetam negativamente o ambiente, contribuindo, entre outros, para o aumento dos níveis de emissão de CO₂ (S. Wang et al., 2017). Neste contexto, importa, pois, promover uma mobilidade sustentável, de forma a responder às necessidades de deslocação, com impactes reduzidos para o meio ambiente. A nova era relativa ao setor dos transportes traz consigo novas oportunidades de crescimento económico, uma vez que promove a empregabilidade e a sustentabilidade.

Um dos temas a abordar quando se analisa um indicador económico é o do congestionamento. De facto, o tempo perdido em filas de espera nos congestionamentos é significativo, em determinados locais e em determinadas horas do dia. O tempo perdido representa custos, pois não há produtividade. No Quadro 3.2 estão representadas quinze áreas urbanas da Europa onde o congestionamento é mais significativo juntamente com uma estimativa da média do tempo perdido em congestionamentos (EEA, 2019c):

Quadro 3.2 - Áreas Urbanas da Europa com mais horas perdidas em congestionamentos, em 2018 (EEA, 2019c)

Área Urbana	Horas perdidas em congestionamentos/ veículo num ano	Mudança em comparação com 2017 (%)
Roma (IT)	254	+16
Dublin (IE)	246	-4
Paris (FR)	237	+7
Londres (UK)	227	+1
Milão (IT)	226	+6
Bordeaux (FR)	223	+12
Florença (IT)	195	+3
Bruxelas (BE)	195	+1
Belfast (UK)	190	-10
Nápoles (IT)	186	-3
Varsóvia (PL)	173	+7
Turim (IT)	167	-2
Edimburgo (UK)	165	-10
Montpellier (FR)	163	+9
Budapeste (HU)	162	+11

Segundo (EEA, 2019c), Roma é apresentada como a área urbana mais afetada pelo congestionamento em 2018, com uma perda de 254 horas/ano/veículo em congestionamentos. A perda económica associada aos congestionamentos é relevante, sendo que em 2016 os custos

relacionados com os atrasos pelo transporte rodoviário na UE-28 aumentaram em 271 bilhões de euros (74% eram relativos ao transporte rodoviário de passageiros) (EEA, 2019c).

Segundo o relatório elaborado pela (EEA, 2019c), os custos relacionados com os acidentes são os mais relevantes, quando se considera o total de transporte de passageiros e de mercadorias, representando 34% dos custos totais, seguido dos custos relativos ao congestionamento, com 32%. No que diz respeito às emissões de GEE e à poluição do ar, estes contribuem respetivamente em 10% e 9% dos custos totais e os custos de ruído com 8% (EEA, 2019c). Estes custos externos totais do transporte na UE-28 equivalem a 841 bilhões de euros por ano. A contribuição para os custos dos vários parâmetros depende sempre do modo de transporte, sendo que para o transporte rodoviário, os acidentes e os congestionamentos são os mais relevantes, já para o transporte ferroviário, os custos relacionados com o ruído tendem a ser os mais acentuados (EEA, 2019c)

3.2 Modelos de estimação dos impactes

Numa tentativa de quantificar ou qualificar os impactes ambientais provenientes do setor dos transportes, foram identificados e aplicados alguns modelos que permitem avaliar e monitorizar os impactes. Na literatura são comumente mencionadas ferramentas de modelação que têm como objetivo responder aos problemas ambientais relacionados com as emissões de GEE para atmosfera, com a qualidade do ar, ruído, socioeconómicos ou ainda com a energia. Um exemplo de uma ferramenta que tem vindo a ser usada são as TIC, que têm como fim o desenvolvimento de uma metodologia que pode ser usada para quantificar (aplicação de modelos) o impacto das soluções conferidas por estas nas emissões de CO₂ provenientes do transporte rodoviário (Samaras et al., 2012). Um outro exemplo são os modelos de dispersão que são muitas vezes utilizados para avaliar a qualidade do ar, num determinado segmento rodoviário, disponibilizando informações sobre o presente e o futuro dos níveis de poluição do ar (Vardoulakis et al., 2003).

Os modelos são, desta forma, instrumentos que, quando usados corretamente, fornecem dados relevantes para potenciar a avaliação e monitorização de determinados indicadores.

Nos subpontos seguintes são identificados exemplos de metodologias de avaliação aplicadas aos diferentes indicadores, que serão posteriormente aplicadas no capítulo 4, e que têm o objetivo de quantificar e/ou qualificar os impactes ambientais identificados relativos ao estudo de caso.

3.2.1 Ruído

A gestão de um sistema de transportes urbanos, pela sua relevância, deve ser acompanhada de estudos técnicos justificativos e fundamentados. O ruído é um dos indicadores frequentemente

avaliado, já que a poluição sonora, tal como foi dito anteriormente, é um problema que atualmente afeta milhões de pessoas, em domínio urbano.

O estudo de caso apresentado no capítulo 4 da presente dissertação, passa pela introdução de um novo sistema baseado em veículos elétricos numa área urbana. Neste contexto, e por se tratar de uma mais-valia, importa avaliar de que forma a sua entrada ao serviço pode beneficiar o meio envolvente, designadamente em termos de ruído. Na vasta literatura da especialidade, este tipo de análise, é habitualmente baseada em estudos comparativos entre a solução a combustão interna e a solução elétrica. A título de exemplo, cite-se o estudo de (Laib et al., 2019) intitulado de *Modelling noise reductions using electric buses in urban traffic - A case study from Stuttgart, Germany*. O objetivo deste estudo, centrou-se na avaliação dos impactes dos autocarros elétricos e de autocarros híbridos elétricos (ou seja, que combinam o motor elétrico com o motor a combustão) no meio urbano, em termos de redução da poluição sonora associado ao tráfego rodoviário. Fatores como a velocidade média, os volumes de tráfego envolvidos e a classificação do tráfego são cruciais para se perceber em que situações os veículos elétricos são mais vantajosos, do ponto de vista acústico (Laib et al., 2019). A metodologia deste estudo, passou pela seleção de um autocarro convencional a diesel (combustão), um autocarro híbrido elétrico e um autocarro elétrico com células de hidrogénio para carregar as baterias e onde foram usados microfones, que estavam inseridos nos autocarros, para fazer as medições dos níveis de pressão sonora (Laib et al., 2019). Após as sessões de recolha de dados, estes foram introduzidos num modelo de propagação de som e posteriormente retiradas conclusões.

A metodologia que irá ser aplicada para a avaliação do ruído nesta dissertação, é semelhante à do estudo anterior e esta será apresentada no capítulo 4.

3.2.2 Qualidade do ar

Os modelos de dispersão atmosférica são modelos que mimetizam o transporte e a dispersão de poluentes na atmosfera após a sua emissão, usando os níveis de emissão fornecidos pelos modelos de emissão e um conjunto extra de parâmetros (Ramos et al., 2011). Os cálculos do modelo fornecem estimativas da concentração de poluentes para locais e horários específicos (@ESS, 2021). Na literatura são normalmente referidos cinco tipos de modelos de dispersão atmosférica (El-Harbawi, 2013; Ramos et al., 2011).

- Modelo Gaussiano;
- Modelo Langrangiano;
- Modelo Euleriano;
- Modelo “caixa” (*box model*).

Os modelos gaussianos são, na maioria das vezes, os mais utilizados para calcular as concentrações de poluentes numa determinada área. O modelo Gaussiano, resolve equações de

transporte e difusão de forma estável (transporte + difusão = dispersão), sob condições estacionárias (@ESS, 2021). A premissa principal do estado estacionário é que existe uma emissão constante e em condições climáticas constantes, sendo que a equação de gauss é a seguinte (Lee et al., 2021):

$$C(x, y, z, t) = \frac{Q}{2\pi * u * \sigma_y * \sigma_z} * \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) * \left[\exp\left(\frac{-(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(\frac{-(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \quad (1)$$

onde,

- $C(x, y, z)$, é a concentração média do poluente, num determinado ponto, em (g/m^3);
- Q , representa o caudal mássico de emissão, em (g/s);
- x, y, z , são respetivamente, a distância a favor do vento da fonte, a distância horizontal do eixo central da pluma e a distância acima do solo, em (m);
- u , é a velocidade dos média do vento, em (m/s);
- h , é a altura efetiva de emissão, em (m);
- σ_y e σ_z , são os coeficientes de dispersão (parâmetros do modelo Gaussiano) na direção horizontal (y) e vertical (z), em (m).

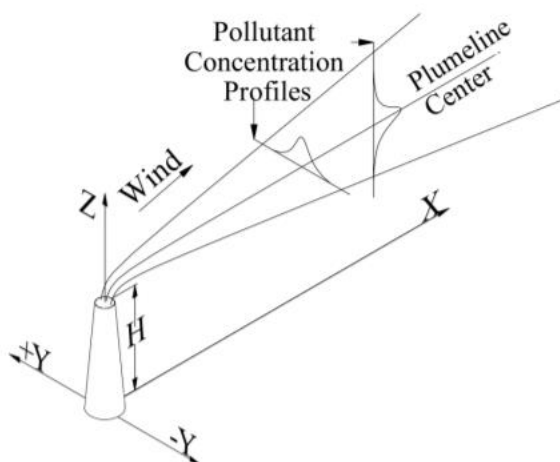


Figura 3.1 – Perfis de concentração, segundo uma distribuição gaussiana (Secrest et al., 2020).

A Figura 3.1 é uma representação esquemática dos perfis de concentração segundo uma distribuição Gaussiana. A equação (1) descreve o processo de mistura que irá gerar uma distribuição de Gauss, segundo as direções horizontais e verticais (Lee et al., 2021). A dispersão dos poluentes que são emitidos, dependem dos coeficientes de dispersão do modelo Gaussiano, nomeadamente σ_y e σ_z e que estão presentes na equação (1). Estes coeficientes são determinados segundo a estabilidade da atmosfera – classes de estabilidade – e para os determinar recorre-se ao método proposto por *Pasquill e Gifford* (Huang et al., 2020).

Para avaliar a qualidade do ar, é usual recorrer-se à modelação. O *ADMS-Roads* (*Atmospheric Dispersion Modelling System - Roads*) é um modelo de dispersão Gaussiano que atua a nível urbano e local. O modelo computacional consegue simular e estimar os efeitos que as construções urbanas (por exemplo, os edifícios habitacionais) têm, na dispersão dos gases poluentes (Riddle et al., 2004). A dispersão dos poluentes depende dos parâmetros meteorológicos (horários), tais como a direção e velocidade do vento, a precipitação, entre outros, e estes são determinados aplicando a teoria de similaridade de *Monin-Obukhov*, mais especificamente o comprimento de *Moni-Obukhov* (Tchepel et al., 2020). Tal comprimento serve para avaliar o grau de estabilidade atmosférica (Moreira et al., 2008). A dispersão dos poluentes, para além de ser influenciada pelas condições meteorológicas é também influenciada pelos “*street canyons*”, que são «*espaços profundos e estreitos semelhantes a vales, criados quando uma estrada é rodeada por edifícios altos em ambos os lados*» (CERC@, 2021).

O *ADMS-Roads* é, portanto, uma ferramenta bastante útil e eficaz, quando o objetivo é a avaliação da qualidade do ar em zonas urbanas, sendo que as principais fontes emissoras são o tráfego rodoviário. O modelo será aplicado, posteriormente no capítulo 4, quando se estudar a qualidade do ar, relativa ao caso de estudo – o sistema *MetroBus*.

3.2.3 Socioeconomia

Na avaliação dos fatores socioeconómicos, e no que diz respeito à introdução de uma nova solução de transportes são, habitualmente, avaliados parâmetros, tais como o potencial de desenvolvimento urbanístico, a valorização do solo, o crescimento populacional das zonas envolventes, as transferências modais, os preços das tarifas, etc. A metodologia que será aplicada no capítulo 4, para o caso de estudo, terá por base o relatório final intitulado *Atualização da estimativa de procura do Sistema de Mobilidade do Mondego* da autoria de (TRENMO, 2017). Os principais objetivos deste relatório, que é o principal apoio desta avaliação socioeconómica, passam por uma atualização das estimativas de procura relativas às tendências socioeconómicas e populacionais, à utilização e serviço do TC (principalmente dos transportes urbanos), à utilização do TI, ao preço de utilização dos transportes e ainda à realocação de equipamentos que tenham alguma influência na mobilidade (TRENMO, 2017). Neste estudo é aplicado um modelo de transportes, cujo objetivo principal é o de estimar ou de prever cenários futuros, com a introdução do projeto do SMM, relativamente à procura dos TC e TI (TRENMO, 2017). O modelo orienta-se segundo o “Modelo dos Quatro Passos ou Modelo Clássico dos Transportes” que inclui os seguintes passos (TRENMO, 2017):

1. Geração de viagens;
2. Distribuição das viagens;
3. Escolha modal;
4. Afetação.

Para a construção do modelo, tendo por base os vários passos descritos anteriormente, a (TRENMO, 2017) recorreu ao *software Emme (Multimodal Transport Planning Software)* desenvolvido pela INRO. Este *software* é um sistema que permite fazer previsões relativas aos transportes, no que diz respeito ao planeamento dos movimentos urbanos, regionais e nacionais (INRO@, 2021). No capítulo 4, serão apresentados e avaliados alguns dos resultados apresentados no relatório da (TRENMO, 2017), o qual foi a principal base deste estudo.

4 ESTUDO DE CASO – O SISTEMA DE METROBUS

4.1 Introdução

A Metro Mondego, empresa pública desde 1996, criou o projeto Sistema de Mobilidade do Mondego (SMM) e este, primeiramente, consistia na implementação de um metropolitano ligeiro de superfície nos concelhos de Coimbra, Miranda do Corvo e Lousã, com uma extensão total de 42 km. O serviço prestado pelo SMM pretendia ligar a estação de Coimbra B e o apeadeiro de Serpins servindo a Baixa de Coimbra e os Hospitais Universitários de Coimbra (APA et al., 2018c). Segundo o Resumo Não Técnico do Relatório de Conformidade Ambiental do Projeto de Execução (RECAPE) da Adaptação do Sistema de Mobilidade do Mondego (APA et al., 2018a), em abril de 2004 (através da Declaração de Impacte Ambiental (DIA) emitida na fase de Anteprojecto) o anteprojecto da SMM foi aprovado, e entre 2007 e 2010, o projeto de execução foi elaborado (APA et al., 2018a). Em 2009, iniciam-se as obras no troço suburbano entre Alto de São João e Serpins, para execução da infraestrutura de via. Entre os anos 2007 e 2008, na linha da Lousã foram construídas as interfaces de passageiros, no entanto, por razões económicas e financeiras, em 2012 o governo decidiu suspender a obra.

Nos 42 km do SMM foram projetadas duas linhas (APA et al., 2018c):

- i. Linha da lousã, com dois troços: troço suburbano entre Serpins e Alto de São João, com um total de cerca de 31 km, 17 estações e de via única; troço urbano entre Alto de São João e Coimbra-B, com um total de cerca de 7km, 16 paragens e de via dupla;
- ii. Linha do Hospital, entre a estação do Aeminium/loja do cidadão e os Hospitais Universitários de Coimbra: com um total de aproximadamente 3,9 km, 9 paragens e de via dupla.

Na Figura 4.1, está representada toda a rede do SMM, sendo que a linha a verde-escuro (linha da Lousã) identifica o troço suburbano entre Serpins e Alto de São João, a verde-claro (linha da Lousã) o troço urbano entre Alto de São João e Coimbra-B e a amarelo, está identificada a linha do Hospital:

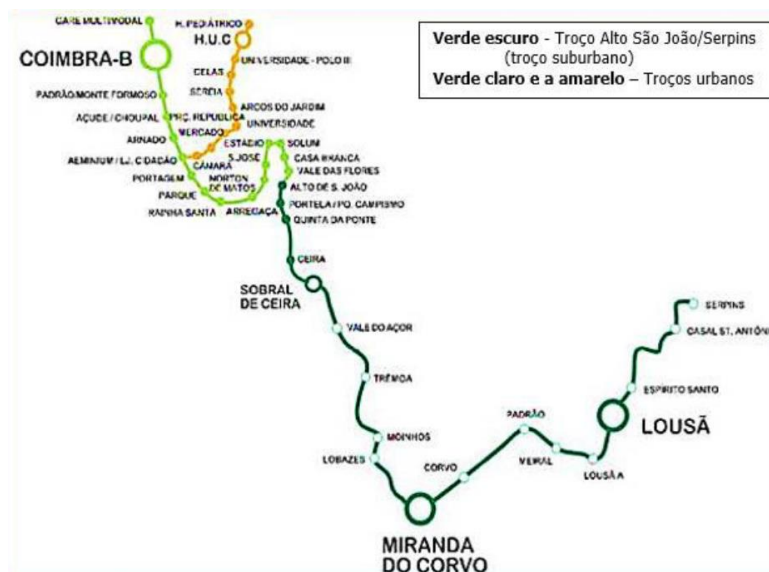


Figura 4.1- Representação da rede do Sistema de Mobilidade do Mondego (APA et al., 2018c).

Com a suspensão da obra em 2012, o projeto da SMM não foi concluído, tendo sido apenas executada parte da infraestrutura da via e as interfaces de passageiros de Sobral de Ceira, Miranda do Corvo e Louçã. Por concluir, ficou a implementação da superestrutura de via - balastros, travessas, carris, postes de catenária e linhas aéreas - e todos os sistemas técnicos de sinalização, telecomunicações, energia e bilhética e ainda a nova estação (estação do Casal de St. ° António, na proximidade de Serpins) (APA et al., 2018c).

Ainda em 2009, entraram em funcionamento os serviços de transporte alternativos rodoviários entre Serpins e Coimbra (autocarro), já que nesse mesmo ano foi interrompido o serviço ferroviário. Este sistema alternativo é o que se encontra atualmente a funcionar, no entanto o serviço é considerado «*pouco adequado*» já que este percorre todas as paragens do Metro Mondego, por estradas nacionais, resultando em tempos de viagens muito longos (APA et al., 2018c).

Desta forma, tendo em conta a inviabilização económica da construção do metro ligeiro, houve necessidade de encontrar uma nova solução para atender às necessidades das populações afetadas. Em 2017 é, então, apresentada uma alternativa para ultrapassar o impasse. Esta solução designa-se por *Metrobus*, e trata-se de um sistema de transporte com infraestrutura dedicada e veículos próprios que se ajustam a essa infraestrutura (APA et al., 2018c). Esta proposta, concebida para ser uma solução moderna, eficaz e eficiente, tanto a nível ambiental como económico, é finalmente aprovada e a sua execução está, atualmente, em curso.

Destaca-se ainda que o trecho que irá ser analisado na presente dissertação, será o trecho suburbano entre o Alto de S. João e Serpins (local do antigo Ramal Ferroviário da Louçã), pertencente aos concelhos de Coimbra, Miranda do Corvo e Louçã. Tendo em conta que a população afeta a estes municípios, principalmente Miranda do Corvo e Louçã, foi a mais

afetada com a retirada do comboio e com a promessa do metro ligeiro de superfície, achou-se que esta escolha seria, por isso, a mais interessante para ser estudada no âmbito do presente trabalho.

4.2 Descrição geral do projeto

A solução em execução e que mereceu a aprovação de financiamento da UE, passa pela substituição do metro ligeiro de superfície (projeto inicial) por uma solução rodoviária do tipo BRT (*Bus Rapid Transit*), a qual foi localmente designada de *Metrobus*. Trata-se, portanto, de uma adaptação do antigo projeto do SMM, para um novo sistema com autocarros elétricos, em canal dedicado do tipo BRT, que oferece desta forma, um nível de serviço bastante satisfatório, com padrões de serviço equivalentes aos que iriam ser oferecidos pelo metro ligeiro (APA et al., 2018c).

Existem inúmeras definições que descrevem os sistemas BRT. Um sistema BRT é um modo de transporte rápido que tem a particularidade de oferecer à sociedade qualidade semelhante à de um metro ligeiro de superfície, como a velocidade e a confiabilidade, bem como as de um autocarro, como por exemplo a sua flexibilidade de trajeto (Deng & Nelson, 2011). Para este modo de transporte, são previstos canais/corredores próprios destinados aos mesmos, sendo-lhes ainda atribuída a prioridade de passagem nos cruzamentos. Dados os benefícios económicos (investimento inicial, conservação e exploração) e a flexibilidade do serviço, a sua expansão, tem-se feito notar um pouco por todo o mundo, com particular destaque na América Latina. Na Indonésia existem dez cidades que já usam este modo de transporte, sendo uma delas Bandung (desde 2009) (Hafiizh Nur et al., 2020). Os baixos preços, o conforto e a facilidade do seu uso são algumas das grandes vantagens (Hafiizh Nur et al., 2020). Em Portugal, para além do projeto do *Sistema de Mobilidade do Mondego – Adaptação a uma solução BRT- Metrobus -Troço Alto de S.João/Serpins*, está igualmente previsto um outro projeto, em Braga, onde se prevê a implementação e a operacionalização de um sistema BRT até 2025 (ELTIS@, 2021) e no Porto (previsto no Plano Recuperação e Resiliência).

O projeto *Sistema de Mobilidade do Mondego – Adaptação a uma solução BRT- Metrobus -Troço Alto de S. João/Serpins* beneficia da obra já construída, entre 2007 e 2012, período de construção para a obra inicial (metro ligeiro), nomeadamente (APA et al., 2018a):

- Execução das interfaces de Sobral de Ceira, Miranda do Corvo e Lousã com os respetivos parques de estacionamento;
- Recapitação da linha ferroviária (antiga) ao nível da plataforma, pontes e túneis existentes;
- Implementação dos cais de passageiros das estações, a construção de estruturas de contenção, a execução de três obras que dizem respeito a restabelecimentos

desnivelados, drenagem e caminhos de cabos e ainda a implantação de maciços catenários.

Para a execução do *Metrobus*, todas estas infraestruturas já executadas, irão ser devidamente aproveitadas e adaptadas à nova realidade. Neste sentido e perante o novo desafio, irão ser alvo de alteração os seguintes aspetos (ver Figura 4.2) (APA et al., 2018a):

- Relativamente às paragens, é necessário a construção de duplo cais (os autocarros apenas abrem a porta do lado direito) – via dupla;
- Junto às estações *terminus* (Quinta da Ponte, Ceira, Corvo e Serpins), devem ser concebidas zonas de inversão de marcha;
- Devem ser introduzidos zonas de inversão de marcha e de acessos de emergência ao canal;
- O tabuleiro das pontes e pontões deve ser devidamente alargado, para que desta forma consiga receber o *Metrobus* e para além disso, consiga dotar de alguns elementos, nomeadamente os passeios laterais que são necessários para manutenções e/ou situações de emergência.

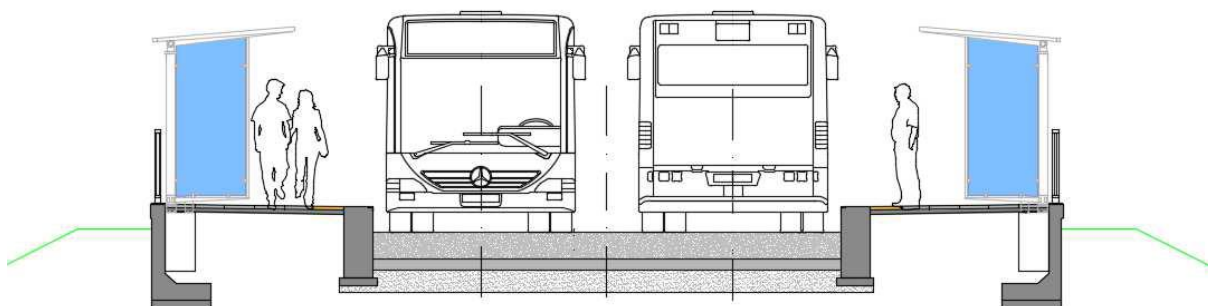


Figura 4.2 – Perfil transversal tipo em paragem do Metrobus.(APA et al., 2018a)

De uma forma resumida, segundo (APA et al., 2018c), ao longo do troço suburbano entre Alto de S. João/Serpins, cuja extensão é cerca de 31km, irão ser implementadas, para a aplicação do sistema de *Metrobus*, os seguintes elementos:

- 17 paragens que devem ser adaptadas ao existente e ainda a criação de via dupla e plataformas que ficarão no lado direito de ambas as vias;
- 5 rotundas para inversão de marcha junto das estações de *terminus*;
- 4 zonas de cruzamento de veículos;
- 8 zonas de inversão de marcha/acessos ao canal para operações de socorro;
- 13 pontes e pontões (com alargamento do perfil transversal a efetuar-se apenas ao nível do tabuleiro que será para o efeito substituído);
- 7 túneis (e estes apenas irão ser pavimentados com a colocação de alguns sistemas acessórios);
- 24 Interseções Rodoviárias e Pedonais de Nível (para automatizar e sinalizar);

- E por fim, 6 interseções desniveladas (5 existentes sem necessidade de intervenção e 1 a construir (desnivelamento da EN342)).

Há ainda a salientar que a Infraestruturas de Portugal (IP) é a proponente e entidade licenciadora deste projeto e, segundo esta, era esperado que a conclusão do troço suburbano entre Alto S. João e Serpins, o troço urbano entre Coimbra B e Alto de S. João e a Linha do Hospital, estivessem respetivamente concluídas no 1.º trimestre e 3.º trimestre de 2021. No entanto, dada à atual situação pandémica, causada pelo novo coronavírus SARS-CoV-2 (Covid-19), são esperados atrasos na conclusão das obras sobretudo nas empreitadas relativas ao material circulante, sistemas técnicos, telemática e sinalização, tendo a abertura ao serviço sido adiada para o último trimestre de 2023.

4.3 Identificação dos impactes mais significativos

Dadas as especificidades deste projeto, identificam-se os principais potenciais impactes ambientais relacionados com a execução do *Metrobus*. Os recursos hídricos, o ruído, a qualidade do ar ou o uso do solo, são exemplos de áreas que são afetadas (umas mais que outras) por este tipo de empreendimento. É neste sentido, que já em 2008 quando foi finalizado o projeto de execução do troço entre Alto de S. João e Serpins, do projeto inicial da SMM (metro ligeiro de superfície), foi realizada a avaliação de conformidade ambiental conforme os RECAPE's que já tinham sido executados (APA et al., 2018c). Estes eram, então, relativos aos trechos Alto de S. João/ Miranda do Corvo e Miranda do Corvo/Serpins, que posteriormente foram aprovados por parte da Autoridade de Avaliação de Impacte Ambiental (AIA), com a emissão da respetiva DIA, que estabeleceu alguns condicionamentos e cujas medidas de minimização devem ser cumpridas (APA et al., 2018c).

O RECAPE sobre a solução atual, sistema BRT (substituição do metro ligeiro por autocarros elétricos), vem demonstrar que as alterações que irão ser e/ou estão a ser feitas no âmbito do projeto do *Metrobus*, não vêm alterar o que já tinha sido aprovado e que está em cumprimento com os pressupostos da DIA, sendo que os novos impactes não se alteram em termos de magnitude e significância quando comparados com os que já tinham sido anteriormente avaliados (APA et al., 2018c).

Tendo em conta a globalidade do projeto, existem determinados indicadores ambientais que necessitam de ser estudados, avaliados e posteriormente monitorizados para que assim se perceba a dimensão dos impactes associados a cada um deles e as medidas que devem ser implementadas de forma a prevenir/minimizar os efeitos no meio ambiente. Assim, para a presente dissertação, foram identificados determinados indicadores, onde são descritos os principais impactes ambientais, tendo como principal base o RECAPE do *Sistema de Mobilidade do Mondego - Adaptação a uma solução BRT – Metrobus - Troço Alto de S. João/ Serpins* e o respetivo Anexo 3: *Avaliação de Impactes Ambientais Decorrentes Das Alterações*

De Projeto, onde posteriormente foram selecionados três desses indicadores, que foram alvo de uma avaliação quantitativa e/ou qualitativa. De forma a complementar o estudo já realizado, foram identificados e acrescentados alguns pontos, que se consideraram pertinentes de serem abordados nesta análise.

Para avaliação dos impactes associados à implementação do sistema do *Metrobus*, optou-se por assumir o cenário de referência, como o associado à solução inicialmente prevista, nomeadamente o metro ligeiro de superfície. Essa opção deveu-se ao facto de os impactes ambientais já terem sido identificados e estimados numa primeira fase, em relação a este cenário, optando-se por procurar fazer o *upgrade* para a nova solução em estudo/execução. Tal como já referido, optou-se ainda, por limitar a análise ao trecho suburbano, o qual pela variabilidade de situações que atravessa, acaba por se revelar tecnicamente mais interessante e enriquecedor.

4.3.1 Recursos hídricos

No Anexo 3: *Avaliação de Impactes Ambientais Decorrentes Das Alterações De Projeto* (APA et al., 2018b), volume 3 do RECAPE do *Sistema de Mobilidade do Mondego - Adaptação a uma solução BRT – Metrobus - Troço Alto de S. João/ Serpins*, são apresentados os impactes ambientais relativos aos recursos hídricos subterrâneos e superficiais.

No que diz respeito aos recursos hídricos subterrâneos foram identificados os possíveis impactes relativos ao novo projeto da *Metrobus*, nomeadamente a alteração das características hidrogeológicas locais, na fase de construção, com possível extensão para a fase de exploração (APA et al., 2018b). Na fase de construção os principais impactes identificados devem-se sobretudo às operações de desmatção e decapagem, aos movimentos de terra, em particular aos aterros e escavações, e ainda à compactação e pavimentação (impermeabilização) da via de circulação (APA et al., 2018b). Como consequência dos movimentos de terra (especialmente das escavações), podem ocorrer exurgências dos níveis freáticos, dando origem à sua drenagem total ou parcial (APA et al., 2018b). Poderá também ser afetada a recarga dos aquíferos, uma vez que irá haver impermeabilização do canal para a circulação dos autocarros elétricos. As zonas mais permeáveis, como são o caso da zona entre Miranda do Corvo e Padrão, são aquelas onde se prevê os impactes mais significativos (APA et al., 2018b). Em termos qualitativos, poderão eventualmente ocorrer alguns acidentes, como contaminações com origem em trabalhos de maquinaria, que trazem consigo substâncias poluentes, tais como hidrocarbonetos, e que consequentemente afetam a qualidade da água subterrânea (APA et al., 2018b).

Em fase de exploração, são previstos impactes (pouco significativos) relacionados com a qualidade da água subterrânea. Estes impactes dever-se-ão a algum tipo de contaminação dos

aquíferos através das águas (chuva ou outras) que escorrem pela via, devido, por exemplo, à lubrificação dos veículos (APA et al., 2018b).

Falta ainda abordar os impactes associados aos recursos hídricos superficiais. O projeto da SMM insere-se na Região Hidrográfica do Vouga, Mondego e Lis, mais precisamente na bacia hidrográfica do rio Mondego. As principais linhas de água, cujo projeto *Metrobus* irá interferir, dizem respeito ao rio Mondego e rio Ceira e rio Dueça ou Corvo. Tendo em conta este enquadramento, os impactes que estão relacionados com a fase de construção, devem-se essencialmente a algumas intervenções, nomeadamente em zonas onde existem linhas de água e estas vão ser atravessadas, ou seja, zonas onde existem pontes - ponte da Portela, Ceira, Dueça 3.^a e Serpins – devido a manutenções de algumas estruturas, mais precisamente a substituição do atual tabuleiro e ainda à consolidação de apoios/encontros (APA et al., 2018b). O processo de substituição dos tabuleiros, poderá eventualmente, através das máquinas e veículos, contaminar as linhas de água, uma vez que poderão existir derrames acidentais de poluentes (APA et al., 2018b). As intervenções que se irão realizar ao nível dos apoios e encontro das pontes de Portela, Ceira, Dueça 3.^a e Serpins, nomeadamente, a implementação de microestacas nas fundações, poderão afetar os cursos de água, uma vez que há probabilidade de haver contaminação por derrame da calda a injetar (APA et al., 2018b).

Ainda neste contexto e, embora não tenha sido identificado por (APA et al., 2018b), deve ser apontado como um potencial impacte, algum tipo de resíduo, em particular a borracha dos pneus dos autocarros elétricos, que pode alojar-se nos pavimentos com particular concentração em zonas de travagem e aceleração e que, conseqüentemente, poderá contaminar as águas subterrâneas (aquíferos) e as águas superficiais, através da escorrência das águas pluviais. Para além dos veículos elétricos, deve-se também ter em conta outros tipos de veículos que possam circular, nomeadamente transportes de emergência (ambulâncias) e de manutenção/reparação (reboques, maquinaria, etc). No caso dos recursos hídricos superficiais, salienta-se que este tipo de resíduos, ao atingir os cursos de água, podem alterar significativamente as condições da água, como por exemplo o pH e os níveis de oxigénio, metendo em causa o ciclo de vida dos ecossistemas. De facto, seria incorreto pensar apenas na fase de exploração, pelo que, em ambas as fases (construção e exploração), estes assuntos são seriamente importantes e relevantes. Todos os resíduos que possam aparecer neste sistema e que comprometam de alguma forma os ecossistemas hídricos, devem ser controlados.

4.3.2 Ruído

Um outro aspeto relevante é o ruído ou ao ambiente sonoro, como está mencionado em (APA et al., 2018b). Numa tentativa de identificar os possíveis impactes relativos ao ruído, nos meios envolventes ao projeto *Metrobus*, foi feita uma caracterização do ambiente sonoro ao longo do troço suburbano Alto de S. João e Serpins. Neste sentido, foi realizada uma avaliação ao

ambiente sonoro, tendo por base os Mapas de Ruído e as Cartas de Zonamento Acústica, dos concelhos de Coimbra, Miranda do Corvo e Lousã e ainda o reconhecimento e respetiva caracterização das principais fontes de ruído dos vários locais (APA et al., 2018b).

Para a identificação dos principais impactes associados ao ruído, dividiu-se, mais uma vez, esta identificação em duas etapas, ou seja, durante a fase de construção e posteriormente na fase de exploração. Assim, durante a fase de construção, apenas se irão fazer/estão a ser feitas algumas adaptações e/ou reabilitações de infraestruturas, como é o caso das pontes e pontões e ainda de alguns taludes, visto que a área da obra é a mesma que já tinha sido executada anteriormente (do projeto inicial da SMM para o metro ligeiro). Como são situações temporárias, esta fase não exige nenhum cumprimento de limites de ruído (em termos legais), pelo que apenas se devem cumprir os horários normais de laboração (APA et al., 2018b). Não se identificaram nesta fase impactes permanentes.

Na fase de exploração, o cenário é diferente. Nesta fase, prevê-se o funcionamento do *MetroBus*, ou seja, dos autocarros elétricos. Para além das vantagens ambientais relacionadas com a redução das emissões de GEE, ao nível de emissões sonoras tem-se constatado que existe também uma diminuição significativa destas, ao nível local. Tendo em conta que é a primeira vez que se irá executar um projeto de BRT em Portugal, alguns estudos da especialidade acabaram por incidir em casos reais, já em execução noutras cidades, como é o caso da cidade Arnhem (Holanda) e em Gotemburgo (Suécia), no sentido de perceber os impactes que todo o sistema, particularmente os veículos elétricos, terão na sociedade envolvente (APA et al., 2018b).

Assim, prevê-se que uma das principais fontes de ruído será a interação entre o pneu e o piso (ruído de rolamento) e ainda um possível ruído para velocidades superiores a 20 km/h (APA et al., 2018b), tendo em conta que as velocidades máximas para o troço suburbano e urbano são, respetivamente, de 70 km/h e de 50 km/h (nos termos previstos na Lei n.º 52/2015 de 9 de junho).

É ainda previsto que, a principal fonte de ruído, para velocidades de circulação abaixo dos 20 km/h, seja o ruído emitido pelo sistema de aviso de presença dos próprios veículos (APA et al., 2018b). Este sistema de sinalização sonora, tem como objetivo evitar os atropelamentos e conflitos em zonas com presença de peões, devido ao baixo nível de ruído que os autocarros emitem quando circulam a velocidades reduzidas. Por fim, uma outra possível fonte de ruído é associada ao carregamento das baterias, isto porque os carregamentos rápidos das baterias, implicam tensões elevadas. Os postos de transformação e a ventilação, são também apontados como fontes de ruído (APA et al., 2018b).

É ainda questionável se para velocidades acima dos 50 km/h, a redução do ruído será significativa. Mais à frente, esta questão será devidamente avaliada e comentada. Para além disto, importa ter presente que, junto às principais paragens do troço em questão, irão existir

parques de estacionamento destinados a veículos automóveis e autocarros, o que poderá originar um nível de ruído extra, nestas zonas, devido sobretudo ao acréscimo de volumes de TI. Na envolvente destas paragens existem habitações (em particular a paragem da Lousã) pelo que esta situação deverá ser devidamente monitorizada e controlada e caso se justifique, serem empreendidas medidas mitigadoras.

4.3.3 Qualidade do ar

Relativamente à qualidade do ar, este aspeto não carece de reavaliação, visto que as alterações associadas aos impactes ambientais respeitantes à qualidade do ar, tenderão a ser pouco significativas, uma vez que ambas as soluções são baseadas em veículos elétricos (tal como o metro ligeiro que seria elétrico). Assim, os impactes ambientais previsíveis associados à qualidade do ar, estão relacionados sobretudo com a fase de construção. Como tal, aponta-se que as emissões de partículas, como poeiras e que estão ligadas a trabalhos de construção civil, são um dos fatores que contribuem para os efeitos mais nocivos do ar, bem como as emissões de óxidos de azoto (NOx), monóxido de carbono (CO) e ainda compostos orgânicos voláteis (COV), associados à deslocação de veículos que precisam de estar presentes nas obras e ao recurso de maquinarias (APA et al., 2018c). Esta situação deverá merecer alguns cuidados especiais, como é o caso da definição de circuitos para transporte dos sedimentos, através de estradas de menor densidade habitacional, devendo ainda a carga ser humedecida ou coberta.

Já na fase de exploração, importa avaliar o tendencial aumento da concentração de poluentes atmosféricos particularmente junto às estações, resultante do uso privilegiado dos veículos automóveis privados, até aos parques de estacionamento das estações intermodais. Isto significa que poderá ocorrer um aumento da poluição do ar nessa envolvente, comprometendo a qualidade do ar. Tais tendências poderão justificar a implementação de medidas que permitam reduzir esta problemática.

Apesar dos veículos elétricos não emitirem gases poluentes, a emissão de não-exaustão de matéria particulada deverá ser, numa fase de exploração, devidamente monitorizada, já que estes estão relacionados com o desgaste dos pneus, travões e da própria superfície da via. Esta é uma questão bastante importante, já que este tipo de emissões tem vindo a subir nos últimos anos.

4.3.4 Socioeconómicos

Por último, importa reflectir sobre os impactes socioeconómicos, sendo expectável que a solução BRT *Metrobus* comparativamente à anterior (metro ligeiro), assuma efeitos sensivelmente semelhantes.

Os impactos relacionados com aspetos da sociedade e da economia, associados ao projeto *Metrobus*, em fase de construção, são idênticos aos que se apontavam para o metro ligeiro e

estariam relacionados, por exemplo com perturbações sonoras ou ainda a emissão de poeiras (tal como já foram referenciadas), que desta forma afetariam a sociedade. Por isso, a fase de exploração ganha aqui mais importância tendo sido considerado que é nesta fase que se irão observar os maiores impactes (APA et al., 2018b). Por outro lado, e atendendo a que os trabalhos de movimentação de terras, recuperação de taludes e reabilitação dos túneis e pontes, decorreram já em fase anterior, não é expectável que tais trabalhos possam assumir impactes significativos.

Do ponto de vista económico e financeiro, o investimento para o projeto inicial do Metro Ligeiro (interrompido em 2012) era bastante avultado, o que acabou por ser considerado economicamente insustentável (apesar de já se terem sido investidos cerca de 120 milhões de euros). Como tal, houve a necessidade de trazer uma nova solução que fosse igualmente sustentável do ponto de vista ambiental, que garantisse à população um bom serviço de mobilidade e que fosse economicamente mais suportável. Desta forma a solução BRT ou *Metrobus*, vem apoiar todos estes aspetos, ajustando-se ainda melhor à realidade demográfica e de procura atual e futura (APA et al., 2018b).

Ainda que não esteja escrito, questiona-se se em termos de tempos de deslocação, se a solução *Metrobus* será atrativa e competitiva em relação ao veículo individual, já que a velocidade máxima que irá atingir no trecho suburbano é de 70 km/h, baixando para 30 km/h nos túneis e para valor ainda não definido nas pontes e pontões (segurança face aos ventos). De facto, apesar de ter um corredor dedicado à sua circulação e de ser assegurada a prioridade nas interseções, dever-se-á ter em atenção que a solução poderá não ser suficientemente competitiva, seja em relação ao metro ligeiro, seja em relação ao comboio tradicional que atingia os 90km/h. Tal constatação poderá assumir impactes significativos nos níveis de procura e portanto na rentabilidade do projeto e por inerência no preço/modalidades dos bilhetes. Poder-se-á especular, desta forma, que os tempos de viagens, poderão ser um dos impactes mais negativos.

Apesar disso, é expectável que o avanço do projeto, pode apresentar uma melhor relação custo-benefício, e este irá permitir que os fluxos de viagem de, e para, a cidade de Coimbra sejam maiores permitindo desta forma que os municípios de Miranda do Corvo e Lousã tenham mais oportunidades de negócio e investimento, em particular na área do turismo (APA et al., 2018b).

4.4 Avaliação dos impactes

Tal como referido em cima, nesta secção, selecionaram-se três indicadores com o objetivo de os procurar quantificar/ qualificar.

4.4.1 Ruído

Tal como referido anteriormente, é previsível que a solução Metro Ligeiro de Superfície (MLS) vs *Metrobus*, não envolva alteração muito significativa em termos de ruído, na medida em que

ambos os meios envolvem veículos elétricos silenciosos. Mesmo ao nível do ruído de rolamento (carris vs faixa de rodagem), os dois veículos assemelham-se, no entanto, o autocarro elétrico consegue, em princípio, atingir melhor desempenho, competindo com valores mais atrativos (Staiano, 2001). Esta questão assume maior relevância em traçado sinuoso e em particular nas curvas de raio reduzido.

Nesse sentido, neste ponto procurou-se avaliar o impacto, em termos de ruído, que a solução final terá, quer nas populações que ocupam espaços envolventes à linha do *Metrobus*, quer nos utilizadores do sistema, comparativamente à situação atual, onde esses transportes são assegurados por transportes rodoviários alternativos, baseados em autocarros tradicionais a combustão interna.

A avaliação do ruído foi elaborada, tendo por base um projeto intitulado *Proyecto MOVÉS - Estudio comparativo de nivel de ruido generado por el transporte público convencional y eléctrico* (MOVÉS, 2021). O principal objetivo deste estudo, foi fazer uma comparação dos níveis de pressão sonora (NPS) originados por transportes públicos, em particular uma comparação entre veículos a diesel e os veículos elétricos. Pretendeu também estimar os níveis de ruído a que os utilizadores dos autocarros estão expostos, bem como da população que é afetada pela passagem destes (MOVÉS, 2021).

A metodologia implementada passou assim, em primeiro lugar, pela escolha de quatro veículos, cuja designação foi a seguinte (MOVÉS, 2021):

- **C5:** unidade convencional a diesel, com mais de 5 anos de utilização (veículo Mercedes Benz, modelo OH 1318/51 cujo ano é 1999);
- **C1:** unidade convencional a diesel, euro V, com menos de 1 ano de utilização (veículo Mercedes Benz, euro V, modelo 1721 LE cujo ano é 2020);
- **E1a:** unidade elétrica com menos de 1 ano de utilização (veículo BYD, modelo K9W cujo ano é 2020);
- **E1b:** unidade elétrica com menos de 1 ano de utilização (veículo ANKAI, modelo G9 10.5 cujo ano é 2020).

Entende-se por unidade convencional, os veículos que são movidos por um motor de combustão interna.

Para as medições dos NPS foram tidos em conta três cenários. No cenário 1, o veículo encontrava-se apenas ligado (“em *ralenti*”); no cenário 2, o veículo começou o movimento - arranque (0 até 25 km/h percorrendo um trajeto de 50 m); no cenário 3 o veículo mantém uma velocidade constante a 10, 20, 30, 40, 50 e 60 km/h. As medições foram realizadas dentro e fora das unidades de transporte, ou seja, mediu-se o ruído exterior e ruído interior (MOVÉS, 2021).

Foram determinados, em cada medição, alguns parâmetros relevantes para o estudo, tais como o NPS instantâneo (L_F), o NPS contínuo equivalente (L_{Feq}) e ainda o NPS máximo ($L_{Fmáx}$) (MOVÉS, 2021). O equipamento usado foi um sonómetro do tipo 1, ou seja um sonómetro de precisão e que é recomendado para o uso em laboratório ou em campo, onde o ambiente acústico pode ser controlado (António, 2012).

Com os resultados obtidos, elaboraram-se, tanto para o ruído exterior como para o interior, e para cada cenário, os quadros que exprimem estes resultados. Deste modo, os quadros com os resultados (resumidos) são apresentadas de seguida.

Ruído exterior:

O Quadro 4.1, apresenta a síntese dos resultados obtidos em termos de NPS contínuo equivalente com ponderação A (L_{AFeq}), para todos os cenários e veículos. Esta ponderação A está relacionada com as curvas de ponderação, neste caso a curva A. Quando se realizam medições, como é o caso deste estudo, são normalmente aplicados filtros, com o objetivo de simular o comportamento do ouvido humano (António, 2012). A curva de ponderação A (ver Figura 4.3) é, por este motivo, comumente aplicada em estudos, pois é a que melhor imita a sensibilidade do ouvido humano.

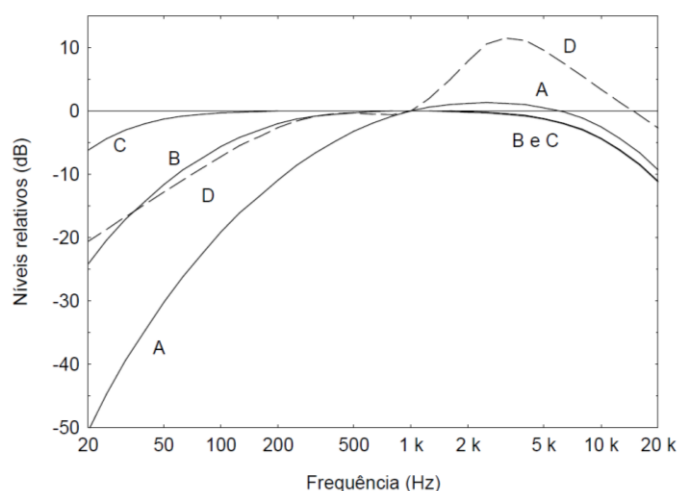


Figura 4.3 – Curvas de ponderação A, B, C e D (António, 2012).

As curvas B, C e D não são usadas para este tipo de medições, já que não representam devidamente a realidade do ouvido humano.

Quadro 4.1 - Quadro resumo dos resultados obtidos para o ruído exterior do (L_{AFeq}), de acordo com os cenários projetados (MOVÉS, 2021).

Condiciones de operación de la unidad	Ruido exterior – L_{AFeq} (dBA)								Mínima diferencia entre tecnologías
	Unidades convencionales				Unidades eléctricas				
	C1		C5		E1a		E1b		
	Media	σ	Media	σ	Media	σ	Media	σ	
10	67,7	2,57	70,7	1,55	45,6	1,36	49,6	2,18	18,2
20	69,9	0,67	77,4	0,17	56,1	1,72	56,3	0,72	13,6
30	71,4	0,95	76,3	0,76	60,6	0,60	62,1	0,78	9,3
40	70,5	1,28	75,4	1,18	64,6	0,72	66,7	0,97	3,8
50	71,8	1,12	78,3	2,55	68,0	0,74	70,8	1,11	0,9
60	73,5	1,25	78,8	2,31	71,0	0,47	73,3	0,21	0,2
Acelerando	69,6	1,53	77,4	1,15	60,4	0,38	60,0	1,62	9,2
Encendido	67,5	0,14	65,4	0,26	40,3	1,14	< 38,8	-	25,1

Da análise do Quadro 4.1, percebe-se que os veículos elétricos, em todos os cenários que foram considerados, registaram valores do NPS equivalente mais baixos, sendo que se salienta o facto de as diferenças observadas serem mais significativas em velocidades baixas (< 30 km/h) (MOVÉS, 2021), como é o caso das situações de aproximação a paragens. À medida que a velocidade aumenta, estes valores vão convergindo, embora, na generalidade mantendo alguma vantagem para os veículos elétricos. A diferença nas emissões de ruído é também significativa, quando os veículos estão parados e quando começam o processo de aceleração (0 a 25 km/h) (MOVÉS, 2021).

A perceção da mudança que está associada às diferenças entre as duas tecnologias (elétrico e convencional euro V) pode ser classificada como significativa em velocidades abaixo dos 30 km/h, importante e óbvia entre os 30 e 40 km/h, perceptível entre os 40 e 50 km/h e pouco ou nada perceptível a 50 km/h, segundo as escalas típicas de perceção de diferença de sons para recetores de impacto (ver Figura 4.4) (MOVÉS, 2021). As diferenças são ainda mais acentuadas quando comparadas com os veículos do tipo C5 (MOVÉS, 2021).

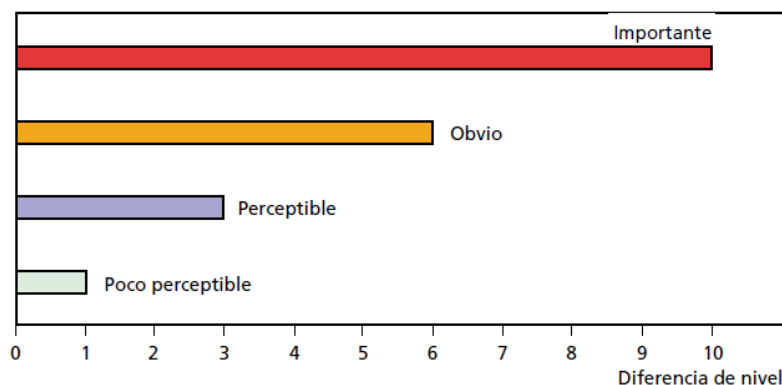


Figura 4.4 - Escala de Percepção das diferenças de som em dBA (MOVÉS, 2021).

Assim, conclui-se que comparativamente aos transportes alternativos atuais, e no que respeita aos veículos em circulação em secção corrente, essa diferença tenderá a ser negligenciável, uma vez que ambos os serviços adotam velocidades superiores a 50km/h. É contudo expectável que os benefícios se venham a concentrar essencialmente nas manobras de aproximação, paragem e arranque nas correspondentes paragens. Tendo por base que atualmente, os transportes alternativos oferecem 41 viagens e onde dessas 41 apenas existem 6 viagens que são diretas de Lousã - Coimbra e apenas 3 de Coimbra – Lousã, sendo as restantes viagens ou semidirectas ou normais (ou seja, fazem o percurso completo, passando por todas as localidades do troço, cuja média do tempo de viagem é aproximadamente 1h), que os autocarros usados são maioritariamente EURO 3/4 e unidades mais antigas, que as paragens se situam em arruamentos urbanos em espaços densamente urbanizados, conclui-se que a solução *Metrobus* trará, em termos de ruído, benefícios evidentes para as populações locais. Embora a frequência de passagem seja aumentada, verifica-se que por ciclo de aproximação, paragem e arranque, o nível de ruído é reduzido, pelo menos em cerca de 15dBA.

Ruído Interior:

Relativamente ao ruído interior, os resultados são apresentados no Quadro 4.2 e referem-se, tal como no ruído exterior, ao NPS contínuo equivalente com ponderação A:

Quadro 4.2 - Quadro resumo dos resultados obtidos para o ruído interior do (L_{AFeq}) de acordo com os cenários projetados (MOVÉS, 2021).

Condiciones de operación de la unidad	Ruido interior – L_{AFeq} (dBA)								Mínima diferencia entre tecnologías
	Unidades convencionales				Unidades eléctricas				
	C1		C5		E1a		E1b		
	Media	σ	Media	σ	Media	σ	Media	σ	
10	64,4	0,92	71,9	0,85	55,2	1,00	56,0	0,47	8,3
20	66,0	0,65	72,0	0,80	59,7	0,49	59,3	0,22	6,3
30	67,8	0,73	73,4	0,77	63,6	0,43	63,7	1,44	4,1
40	67,9	0,63	74,6	0,24	66,5	0,37	66,5	1,78	1,4
50	70,1	0,52	77,1	0,92	67,7	0,04	67,9	0,14	2,2
60	71,5	0,14	77,3	2,35	71,5	0,96	71,4	0,76	0,0
Acelerando	71,5	0,14	75,7	0,19	63,2	0,66	61,2	0,55	8,3
Encendido	57,1	0,52	65,5	0,57	47,2	0,50	46,7	1,24	9,9

À exceção dos 60 km/h, todos os cenários apresentaram valores de (L_{AFeq}) superiores relativamente aos veículos elétricos. As discrepâncias foram mais acentuadas quando os veículos estavam parados, em arranque (aceleração), ou a circular com uma velocidade mais baixa (MOVÉS, 2021). À medida que a velocidade aumenta, os valores dos NPS das duas tecnologias tendem a convergir (MOVÉS, 2021).

No que diz respeito à perceção da mudança associada às diferenças entre as duas tecnologias, pode ser classificada como importante e óbvia em velocidades abaixo dos 30km/h, perceptível entre os 30 e 40 km/h e pouco ou nada perceptível a partir dos 40 km/h de acordo com as escalas típicas de perceção de diferença de sons (MOVÉS, 2021).

Apesar de as diferenças serem mais significativas para velocidades mais baixas (30 km/h), “em *ralenti*”, ou no processo de arranque (0 a 25 km/h), tais diferenças revelam-se importantes, já que normalmente os transportes públicos fazem o seguinte ciclo: parados – arranque (aceleração) – circulação - desaceleração (MOVÉS, 2021). Assim, facilmente se conclui que, em cada paragem e arranque, a diferença entre um veículo a combustão vs um elétrico, se traduz na redução dos níveis de ruído interior em cerca de 10 dBA. Estando prevista uma frequência de 15 em 15 min, em trecho suburbano e de 5 em 5 minutos, no trecho urbano mais populoso, e um aumento do número de paragens em relação ao serviço atual, estas conclusões indiciam que o *Metrobus* venha a oferecer um nível de conforto acústico aos seus utilizadores bastante perceptível e importante (Figura 4.4).

Após esta análise, percebe-se que a concretização do *Metrobus* irá ser vantajosa, em termos acústicos, quer para as envolventes atravessadas quer para os utilizadores do sistema. Tanto a nível de ruído exterior como interior, as diferenças serão notáveis, designadamente a baixas

velocidades, pelo que dado o aumento da frequência e do número de paragens, os impactos a este nível serão positivos. Refira-se ainda que, caso a solução de metro ligeiro tivesse vingado, haveria ainda que considerar o ruído associado à operação dos veículos sobre carris, o qual tende a aumentar, seja com a velocidade de operação e inclinação longitudinal e sobretudo com a redução do raio de curvatura, o que em meio urbano condicionado, assume bastante relevância.

Em complemento, será igualmente de ter em conta que a abertura ao serviço do *Metrobus*, se traduzirá na transferência modal do veículo individual para o transporte coletivo, em cerca de 20 a 30% do tráfego gerado/atraído nas zonas servidas diretamente pelo canal, pelo que a redução do tráfego em geral associada à indispensável reformulação da rede de transportes públicos se traduzirá numa redução acentuada dos níveis de ruído, não só ao longo do canal, como também nas zonas de influência do sistema.

4.4.2 Qualidade do ar

A implementação de uma solução do tipo BRT (*Metrobus*) poderá trazer à sociedade vantagens em termos de qualidade do ar. É expectável que, com a sua implementação, a qualidade do ar melhore, já que serão utilizados veículos elétricos, com zero emissões locais. Para avaliação dessas possíveis vantagens recorreu-se ao modelo de dispersão Gaussiano, *ADMS-Roads*, tal como foi explicado na secção 3.2.2. O modelo foi aplicado a uma área (rua) de forma a perceber qual a contribuição que o transporte rodoviário (apenas foram analisados os veículos ligeiros de passageiros) exerce na qualidade do ar local em ambiente urbano. Salienta-se, que a análise foi limitada ao estudo da dispersão da concentração do poluente PM_{10} , uma vez que apenas foi possível obter informação relativa a este indicador. O modelo foi, como exemplo, aplicado a uma rua, situada na vila da Lousã, servindo de referência ao que previsivelmente se poderá registar noutras vias dos concelhos abrangidos pelo projeto SMM.

Para facilitar a compreensão, são apresentados alguns conceitos relacionados com as emissões do tráfego rodoviário. Foram considerados dois tipos de emissões, nomeadamente as emissões de exaustão e as de não exaustão. As primeiras, decorrem da combustão dos vários tipos de combustível, como o diesel, a gasolina, o gás liquefeito de petróleo (GPL) e ainda de gás natural nos motores a combustão interna (EEA, 2019a). Já as emissões de não exaustão, surgem do desgaste dos pneus, dos travões e ainda do desgaste da superfície da estrada (Harrison et al., 2021). As emissões de exaustão, subdividem-se ainda em emissões a quente, que dizem respeito ao funcionamento do motor, e em emissões a frio relacionadas com o processo de arranque, ou seja, quando existe uma diferença significativa de temperatura no motor e do catalisador (Reiter & Kockelman, 2016).

A aplicação do modelo de dispersão das partículas (PM_{10}), requer o tratamento de vários dados de campo. Os mesmos foram recolhidos no dia 4 de maio de 2021, um dia específico e representativo de condições normais de funcionamento da rede. Desta forma, foram recolhidos:

- Informação relativa às fontes de emissão (veículos ligeiros de passageiros) – contagem de tráfego na rua selecionada (Rua Primeiro de Dezembro, Lousã);
- Dados meteorológicos;
- Dados relativos à qualidade do ar nesse dia – estação de fundo (*background*).

Definição da área de estudo

A área de estudo que foi selecionada para ser representativa nesta avaliação, foi a Rua Primeiro de Dezembro, no concelho da Lousã e está representada a traço a amarelo na Figura 4.5:

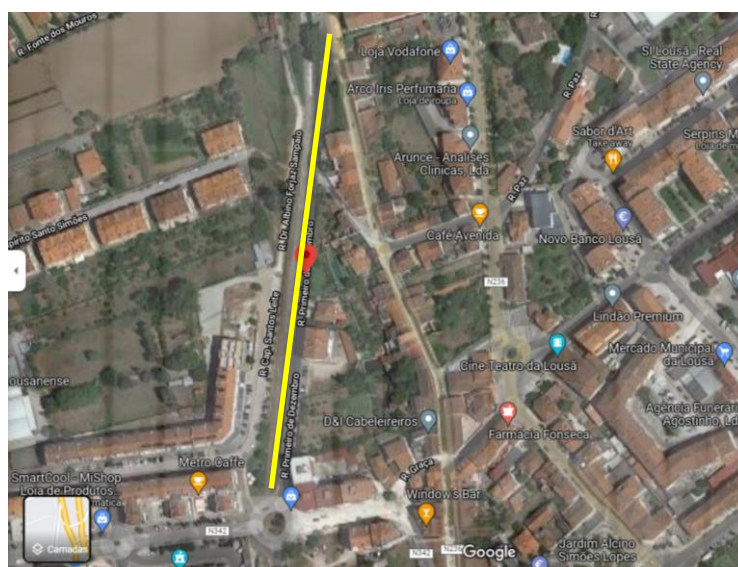


Figura 4.5 – Localização espacial da área de estudo - Rua Primeiro de Dezembro.

A rua dispõe dos dois sentidos, com duas entradas e três saídas. Na sua envolvente, e no sentido ascendente, identifica-se uma concentração acentuada de obstáculos, nomeadamente edifícios de habitação. Em paralelo com a rua, localiza-se o trecho onde irá passar o *Metrobus*, sendo que junto da rotunda irá ser uma das interseções.

Dados do tráfego (contagem e classificação):

A contagem de tráfego teve como principal objetivo caracterizar e estudar a procura de veículos na rede viária, tendo-se optado por segregar a contagem por sentido de tráfego e por classe de veículos. A contagem de tráfego, decorreu no dia 4 de maio de 2021, e incidiu no período de ponta da tarde, onde apenas se contabilizaram, tal como já foi referenciado em cima, os veículos ligeiros de passageiros. Essa limitação deveu-se ao facto de apenas interessar ao estudo a capacidade evidenciada pelo sistema de *Metrobus* para transferir viagens do TI para o TC. Foi ainda considerada a segregação da contagem em períodos de 15 minutos, tendo-se optado por

caracterizar o período de 1h, compreendida entre as 17h e 18h. O total de veículos registado foi de 339 veículos ligeiros de passageiros, distribuídos pelas seguintes categorias (Quadro 4.3):

Quadro 4.3 - Distribuição dos veículos ligeiros de passageiros por categoria

Ligeiros de passageiros			
Mini	Small	Medium	SUV
9	170	130	30

Para a construção do perfil de tráfego rodoviário da Rua Primeiro de Dezembro e para a caracterização da variação temporal das emissões ao longo do dia, aplicado no modelo, recorreu-se às contagens quinquenais registadas pela Junta Autónoma de Estradas (JAE) e pelo Infraestruturas de Portugal (IP), no ano de 2005. Para o efeito recorreu-se ao posto de contagem situado na Estrada Nacional (EN) 236, onde se registou o Tráfego Médio Diário (TMD) de 6450 veículos ligeiros. Assumindo ainda que a maioria das viagens realizadas através da EN 236 (cerca de 70%) têm como destino a cidade de Coimbra, ou seja, esta via nacional veria o tráfego de circulação baixar em 4515 veículos ligeiros por dia. Em complemento, foram ainda adotados, os valores registados numa contagem realizada na Avenida Fernão de Magalhães por (Pinto, 2014), o que permitiu construir o perfil de tráfego para a Rua Primeiro de Dezembro (Figura 4.6).

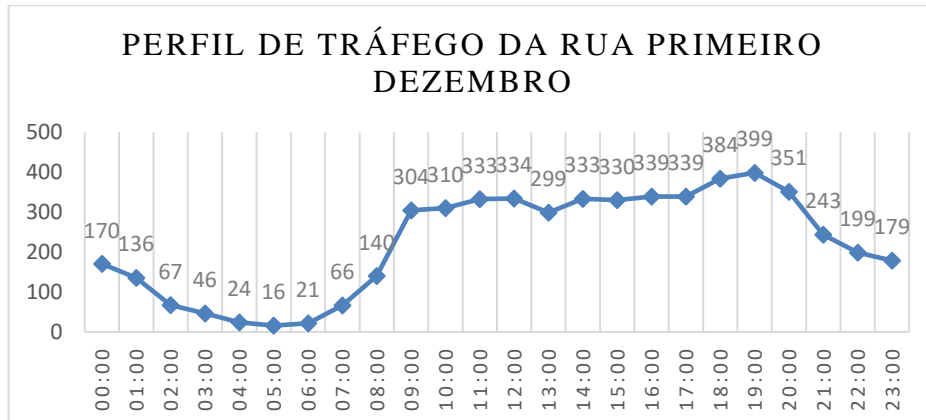


Figura 4.6 - Perfil de Tráfego rodoviário na Rua Primeiro de Dezembro, no dia 04 de maio de 2021.

Distribuição dos veículos por tipo de combustível e norma EURO (tecnologia):

No que respeita à distribuição dos veículos por tipo de combustível a mesma foi baseada na estatística a nível nacional, recorrendo-se aos dados disponibilizados pelo INE e ao (REA@, 2021b). Para calcular a distribuição de veículos por norma EURO, recorreu-se às “Estatísticas do Setor Automóvel” (ACAP - Associação Automóvel de Portugal, 2018), tendo por base a idade e o número dos veículos em circulação em Portugal em 2017 (no Anexo A, Quadro A.1, encontra-se detalhado a distribuição da frota automóvel portuguesa de veículos ligeiros de passageiros por idade e em percentagem) - Quadro 4.4 e Quadro 4.5.

Quadro 4.4 - Distribuição dos veículos ligeiros de passageiros por tipo de combustível (REA@2021b).

DIESEL	GASOLINA	GPL
55,4%	42,9%	1,0%

Quadro 4.5 - Distribuição percentual da frota automóvel portuguesa por tipo de norma EURO, relativa aos veículos ligeiros de passageiros, em 2017.

Veículos ligeiros de passageiros					
EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6
13,50%	16,56%	22,38%	20,90%	14,20%	12,50%

Fatores de emissão/Cálculo das emissões:

Os fatores de emissão (g/km) dependem da velocidade média de circulação e ainda do tipo de poluente e tipo de veículo utilizado (Lyu et al., 2021). O cálculo dos fatores de emissão foi baseado na metodologia europeia EMEP/EEA (EEA, 2019b), onde foram filtrados os parâmetros de interesse, ou seja, a categoria, a tecnologia, o tipo de combustível e ainda a velocidade média de circulação, que para este estudo, foi de 50 km/h, já que se trata de uma via integrada em meio urbano. Com base na metodologia EMEP/EEA (EEA, 2019a), em particular no método “Tier 3”, as emissões para o poluente de interesse foram calculadas enquanto emissões de exaustão a quente, tendo por base alguns parâmetros, como o número de veículos, por categoria e por tecnologia, a distância percorrida por veículo (km/veículo), a velocidade média (km/h) e ainda os fatores de emissão (g/km) - equação (2) (EEA, 2019a).

$$E_{hot;i;k,v} = N_k \times M_k \times e_{hot;i;k,v} \quad (2)$$

onde,

- $E_{hot;i;k,v}$, diz respeito às emissões a quente do poluente i (g), com a tecnologia k , a uma velocidade v ;
- N_k , representa o número de veículos com a tecnologia k ;
- M_k , está relacionado com a distância percorrida dos veículos com a tecnologia k ;
- $e_{hot;i;k,v}$, representa o fator de emissão (g/km) do poluente i , com a tecnologia k e com uma velocidade de circulação v .

ADMS-Roads:

Foi ainda necessário recolher os dados meteorológicos e as concentrações de fundo (*background*).

- Dados Meteorológicos:
Os dados meteorológicos assumem-se como extremamente relevantes, já que influenciam a concentração do poluente obtida através do modelo de dispersão. Estes dados foram obtidos a partir da estação meteorológica Povoia de Fiscal – ILOUS3

(WU@, 2021) para o dia 04 de maio de 2021. O modelo exige ainda a introdução de dados (horários) relativos à velocidade e direção do vento, temperatura e humidade relativa para geração de uma rosa-dos-ventos (Figura 4.7). A análise dos resultados obtidos permitiu concluir que a velocidade do vento variou apenas entre 0 e 1,5 m/s e que a direção predominante é no quadrante Nordeste (NE).

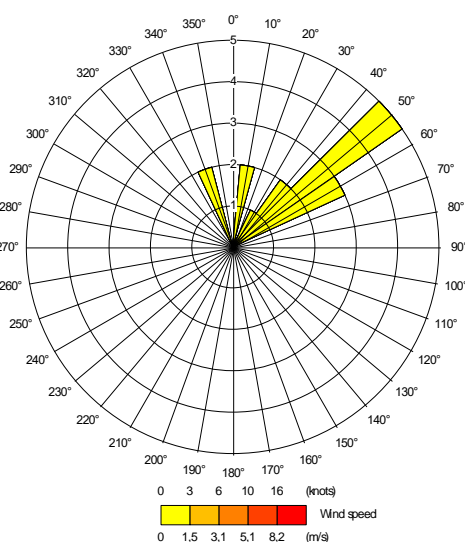


Figura 4.7 - Rosa-dos-ventos para o dia 04 de maio de 2021.

- **Concentrações de fundo (background):**
As concentrações de fundo dizem respeito às concentrações de poluentes que são contabilizadas fora da área de estudo, ou seja, aos níveis de concentração de poluentes na atmosfera envolvente. Para a sua obtenção recorreu-se a uma estação de qualidade do ar, nomeadamente à estação urbana de fundo mais próxima da área de estudo, situada junto do Instituto Geofísico de Coimbra (IGC). A entidade gestora da estação é a Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro (CCDR), cujos dados são disponibilizados no portal QualAr (QualAr@, 2021). Esta estação, apenas monitoriza alguns poluentes, nomeadamente PM₁₀, O₃, NO₂, NO_x e ainda NO, disponibilizando apenas dados relativos ao PM₁₀, para o dia em estudo.
- **Modelação do tráfego na via rodoviária em estudo:**
A área em estudo (Figura 4.8), corresponde à Rua Primeiro de Dezembro, representada, no programa, pela linha a azul. O valor da emissão do poluente em questão (PM₁₀), foi introduzido no ADMS-Roads em g/km/s.

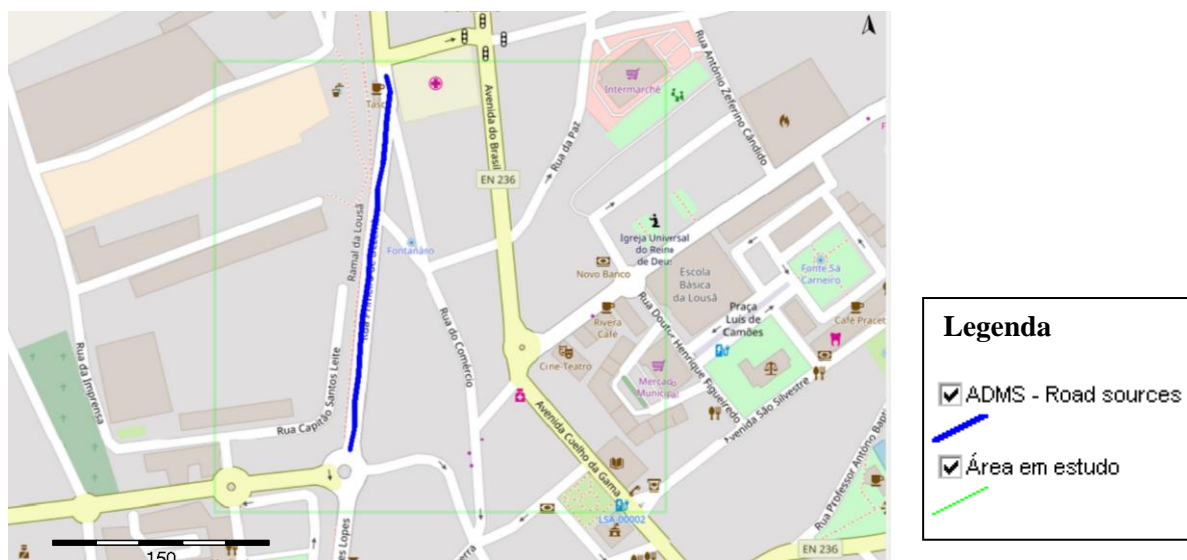


Figura 4.8 - Delimitação da área de estudo no programa - Rua Primeiro de Dezembro.

Resultados e conclusões:

A Figura 4.9 apresenta a dispersão da concentração do poluente resultante da aplicação do modelo ADMS-Roads.

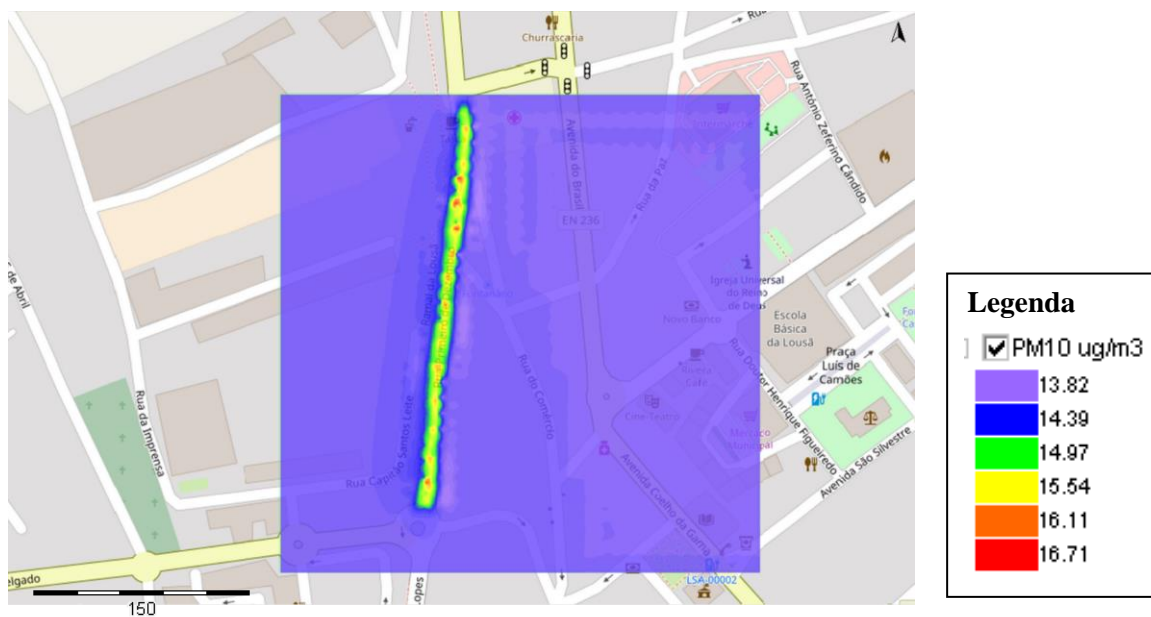


Figura 4.9 – Distribuição da concentração do poluente PM₁₀ na área em estudo.

Da análise da Figura 4.9, conclui-se, tal como esperado, que a zona mais crítica é ao longo da via, no entanto, com a aproximação das extremidades das zonas de saída/entrada verifica-se uma maior concentração, o que poderá estar relacionado com o facto de existirem obstáculos mais altos (habitações), dificultando a dispersão. À medida que ocorre dispersão, a concentração do poluente vai atenuando. Os valores obtidos estão compreendidos entre os 13,82 e os 16,71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sendo que gama de valores predominante se concentra entre os 15,54 e 16,11

$\mu\text{g}/\text{m}^3$. De acordo com o Decreto-Lei n.º 102/2010, que estabelece o Regime da avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente, nomeadamente no Anexo XII – Valores limite para a proteção da saúde humana para os poluentes dióxido de enxofre, dióxido de azoto, benzeno, monóxido de carbono, chumbo e PM_{10} , não pode ser excedido os $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pelo que se conclui que a concentração deste poluente cumpre com o valor limite.

Em complemento e apesar das concentrações do poluente estarem dentro dos limites legais e, por isso, assumir um impacto negligenciável para a saúde humana, é expectável que a nova solução contribua para a transição modal do TI para o TC. Se se assumir que os 4515 veículos que viajam diariamente para Coimbra (TMD), se associam a uma taxa de ocupação de 1,25, conclui-se que viajam aproximadamente 5644 passageiros/dia entre Lousã e Coimbra. Supondo que o sistema de *MetroBus* se revela capaz de captar cerca de 30% dessas viagens, conclui-se que aproximadamente 1700 passageiros/dia vão usufruir da nova solução, passando de um TMD de 4515 para 3100 veículos ligeiros. Analisando a situação, poderá assumir-se que a contribuição do tráfego rodoviário para a degradação da qualidade do ar irá diminuir (TMD diminui), pelo que a dispersão deverá igualmente diminuir. Apesar da análise ter sido limitada a uma via, é dedutível que a qualidade do ar em toda a área adjacente à linha, sofrerá igualmente melhorias.

Mas se a nova solução se traduz na melhoria no que diz respeito às emissões de exaustão, o mesmo poderá não acontecer no que concerne às emissões de não-exaustão já que este tipo de emissões está relacionado com a matéria particulada que é emitida derivada do desgaste dos pneus, da própria superfície da via e dos travões. Na verdade, as emissões de não-exaustão tenderão a aumentar, agravada pelo facto de ainda não existir regulamentação para esta problemática (Harrison et al., 2021).

4.4.3 Socioeconómicos

Com a implementação de uma solução BRT a servir os habitantes dos municípios da Lousã, Miranda do Corvo e Coimbra, neste ponto procurou-se avaliar a forma como este sistema irá afetar a sociedade e a economia dos vários locais. Para isso, recorreu-se ao Relatório Final intitulado *Atualização da estimativa de procura do sistema de mobilidade do Mondego*, da autoria da (TRENMO, 2017) e ainda ao Anexo 3: *Avaliação de Impactes Ambientais Decorrentes Das Alterações De Projeto* (APA et al., 2018b), volume 3 do RECAPE do “Sistema de Mobilidade do Mondego - Adaptação a uma solução BRT – *Metrobus* - Troço Alto de S. João/ Serpins”.

A introdução de uma solução de *Metrobus*, implica o conhecimento de um conjunto alargado de parâmetros, essenciais à avaliação da solução, e que permitem perceber o impacto da nova solução sobre a população servida. Relativamente à dinâmica populacional e procura de transportes, e tal como foi sendo referenciado ao longo da dissertação, o SMM abrange os

concelhos de Miranda do Corvo, Lousã e Coimbra, os quais são interligados através do trecho suburbano (TRENMO, 2017). O *Metrobus*, para além de assegurar a ligação entre estes concelhos à cidade de Coimbra, responde ainda a toda a população abrangida pelo SMM permitindo-lhes chegar aos serviços pretendidos, como por exemplo, aos seus empregos, escola ou outros pontos de interesse (APA et al., 2018b). Neste sentido, importa perceber como é que a população abrangida, tem evoluído ao longo dos últimos anos, de forma a estimar a procura do sistema nos vários núcleos urbanos. De acordo com o relatório (TRENMO, 2017) e com as estimativas de população do INE (INE@, 2021), a população tem vindo a diminuir seguindo a tendência registada no território nacional. Na figura 4.10, é possível observar a variação da população entre 1991 e 2015, tendo especial destaque para os municípios em estudo.

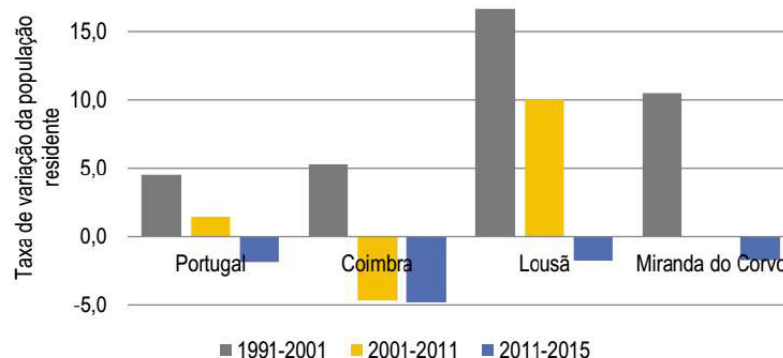


Figura 4.10 - Variação populacional do território nacional com destaque para Coimbra, Lousã e Miranda do Corvo, residentes entre 1991 e 2015 (TRENMO, 2017).

Coimbra destaca-se como o município com maior perda populacional, desde 2002, segue-se Miranda do Corvo, que começa o seu decréscimo em 2010 e por fim Lousã em 2011 (TRENMO, 2017). Segundo as estimativas do INE (INE@, 2021), a tendência regressiva da população tenderá a manter-se até 2060 em Portugal e na Região Centro (TRENMO, 2017). Com a atualização dos Censos 2021, veio-se confirmar que, de facto, a população continua a diminuir, pelo que Coimbra volta a ter um decréscimo (-1,8% face a 2011). Em Miranda do Corvo o decréscimo é bem mais acentuado (- 8,3% relativamente a 2011) e a Lousã segue a mesma tendência (- 3,4% relativamente a 2011).

Ainda neste contexto, e com o objetivo de determinar a procura para anos futuros, a TRENMO estimou, através de uma técnica intitulada de *Areal Weighting* (TRENMO, 2017), a população que residia a 400 e a 600 metros de cada paragem do troço suburbano do SMM. Os dados estão apresentados no Quadro 4.6:

Quadro 4.6 - População que reside nas proximidades das paragens do troço suburbano (APA et al., 2018b)

Estação SMM (suburbano)	População 2011 (Censos)		População 2016	
	400 m	600 m	400 m	600 m
Carvalhosas/ Parque de Campismo	459	729	432	686
Quinta da Portela	237	412	224	389
Ceira	375	773	352	727
Sobral de Ceira	386	656	363	617
Vale do Açor	56	152	52	144
Trémoa	28	53	26	51
Moinhos	237	424	232	415
Lobazes	20	40	20	39
Miranda do Corvo	765	1301	749	1273
Corvo	251	565	246	552
Padrão	55	119	53	117
Meiral	64	160	63	157
Lousã A	1786	2988	1745	2920
Lousã	1090	1840	1065	1800
Espírito Santo	405	847	395	827
Casal de Santo António	135	221	132	216
Serpins	130	241	127	235

Para a construção do modelo de transportes pela TRENMO, cujo objetivo era o de simular cenários futuros, prevendo desta forma, como é que a sociedade irá responder à introdução dos novos sistemas de mobilidade, neste caso, o *MetroBus*, foi preciso recolher os dados indispensáveis à sua construção, como as taxas de crescimento da população nas zonas de origem e de destino das viagens (TRENMO, 2017) e o potencial de desenvolvimento urbanístico futuro. O modelo foi construído, assumindo 2016, como o ano de referência de base. Assim, os valores para 2016, relativos à procura dos transportes coletivos (ver Quadro 4.7) nos três municípios integrantes do projeto do SMM correspondiam a 7 847 pessoas em hora de ponta matinal, 78 357 pessoas diárias e 22 410 129 pessoas por ano, correspondendo assim a 14% das viagens com origem e destino nos municípios do SMM. É também expectável que a procura no trecho suburbano represente cerca de 10% da procura de todo o SMM. Mais recentemente, as atualizações da procura levadas a cabo pela TRENMO no final de 2019, apontam para um abaixamento da procura, cifrando-a em cerca de 13 milhões de viagens anuais, com menos de 6000 viagens em hora de ponta. Contudo e por não se dispor dos números discriminados, optou-se por trabalhar com a estimativa 2017.

Quadro 4.7 - Procura, tendo em conta o modo de transporte, em 2016 (APA et al., 2018b).

Modo de Transporte	Todas as zonas			Viagens com O/D nos municípios do SMM		
	PM	Diário	Anual	PM	Diário	Anual
TI	86044	867727	248169948	47691	480252	137352071
TC	12831	122391	35003852	7847	78357	22410129
TI + TC	98875	990118	283173800	55538	558609	159762200

Esta análise, que integrou o estudo demográfico nas zonas afetadas ao projeto do SMM, bem como da procura dos transportes coletivos, permitiu estimar, nas paragens do troço Alto de São João/ Serpins para a hora de ponta matinal e cujo sentido de maior procura é Serpins – Alto de São João, a procura para o ano de entrada em funcionamento do *Metrobus* (2020) cujo valor é 5922 pessoas (APA et al., 2018b). No Quadro 4.8, estão apresentados os valores da procura estimada para 2020 (para cada paragem e para a Hora de Ponta Matinal (HPM)). De notar, que o ano de entrada de funcionamento da nova solução *Metrobus* estava prevista para 2020, contudo os sucessivos atrasos, remeteram recentemente a entrada ao serviço para o final de 2023.

Quadro 4.8 - Procura do TC, no sentido mais carregado na HPM (valores acumulados), para o ano 2020 (APA et al., 2018b).

Paragens	Procura (acumulada) do TC na HPM para o ano de 2020
Serpins	30
Casal de Santo António	32
Espírito Santo	52
Lousã	122
Lousã A	252
Meiral	264
Padrão	274
Corvo	282
Miranda do Corvo	364
Lobazes	374
Moinhos	384
Trémoa	396
Vale do Açor	414
Sobral de Ceira	520
Ceira	642
Quinta da Ponte	696
Carvalhosas/ Parque de Campismo	824

Pôde-se assim concluir, da análise dos Quadros 4.6 e 4.8, que Lousã, Lousã-A, Miranda do Corvo, Sobral de Ceira e Carvalhosas/ Parque de Campismo, são as paragens com maior procura e onde há «um “salto” quantitativo face aos números de procura da paragem anterior» (APA et al., 2018b), sendo que as zonas identificadas, correspondem aos principais aglomerados urbanos e onde a população que reside a 600 m das estações é mais alta (APA et al., 2018b). Tal como referido anteriormente, a procura no trecho suburbano representa cerca de 10% da procura global do SMM. São ainda apresentados no Quadro 4.9, os valores que servem de comparação, entre as várias escolhas modais e para os dois cenários - sem o SMM e com o SMM - e para as viagens com O/D nos municípios do SMM, nomeadamente, Coimbra, Miranda do Corvo e Lousã, no ano de implementação e funcionamento da solução *Metrobus* - 2020 - e para os anos horizonte de projeto - 2035 e 2050 (TRENMO, 2017):

Quadro 4.9 - Valores referentes às escolhas modais, nas viagens com O/D nos municípios de Coimbra, para os anos 2020, 2035 e 2050 (TRENMO, 2017).

		Viagens com O/D nos municípios do SMM					
		Sem SMM			Com SMM		
		PM	Diário	Anual	PM	Diário	Anual
2020	TI	47 665	476 650	136 321 900	46 550	465 500	133 133 000
	TC	7 843	78 430	22 430 980	8 958	89 580	25 619 880
	TI + TC	55 508	555 080	158 752 880	55 508	555 080	158 752 880
2035	TI	47 219	472 190	135 046 340	46 134	461 340	131 943 240
	TC	7 772	77 720	22 227 920	8 857	88 570	25 331 020
	TI + TC	54 991	549 910	157 274 260	54 991	549 910	157 274 260
2050	TI	46 202	462 020	132 137 720	45 179	451 790	129 211 940
	TC	7 608	76 080	21 758 880	8 631	86 310	24 684 660
	TI + TC	53 810	538 100	153 896 600	53 810	538 100	153 896 600

Segundo o modelo, a implementação do *Metrobus*, deverá impulsionar o aumento da procura do TC, sendo que esta procura deverá variar conforme o crescimento populacional das zonas abrangidas. Desta forma, e tal como já foi referido, prevê-se uma diminuição da população, pelo que também a procura do TC tenderá a diminuir até 2050 (TRENMO, 2017).

Refira-se, contudo, que face ao septicíssimo que este projeto gerou na população, com cerca de 30 anos de avanços e recuos, e que se traduziu na estagnação ou mesmo retrocesso no crescimento urbano, é agora expectável que essa tendência se venha a inverter. De facto, com a concretização do projeto, estes municípios vizinhos a Coimbra, que mantêm grande potencial de desenvolvimento urbanístico e económico e que reúnem condições imobiliárias mais

favoráveis comparativamente à cidade de Coimbra, é possível que venham a sofrer um aumento populacional, contrariando assim as tendências locais e nacionais.

Também os tempos de viagens carecem de análise crítica no sentido de perceber se os tempos praticados pelo *MetroBus* são ou não competitivos em relação ao veículo individual.

Segundo o relatório (TRENMO, 2017) e segundo os censos de 2011 a repartição modal assume a distribuição apresentada na Figura 4.11.

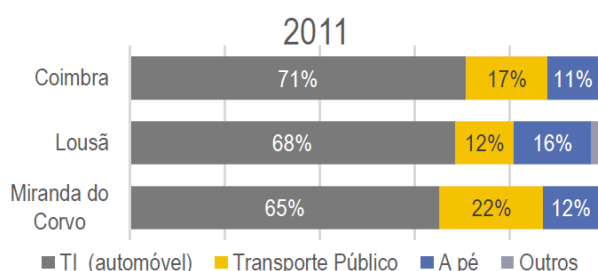


Figura 4.11 - Repartição modal dos 3 municípios (Coimbra, Lousã e Miranda do Corvo) nos movimentos pendulares. (TRENMO, 2017).

Verifica-se, como era de esperar, que o TI prevalece relativamente aos outros modos de transporte alternativos. Essa tendência mantém-se independentemente da classe do utilizador, sendo que a figura 4.12 apresenta a repartição modal segregada por Trabalhadores e Estudantes.

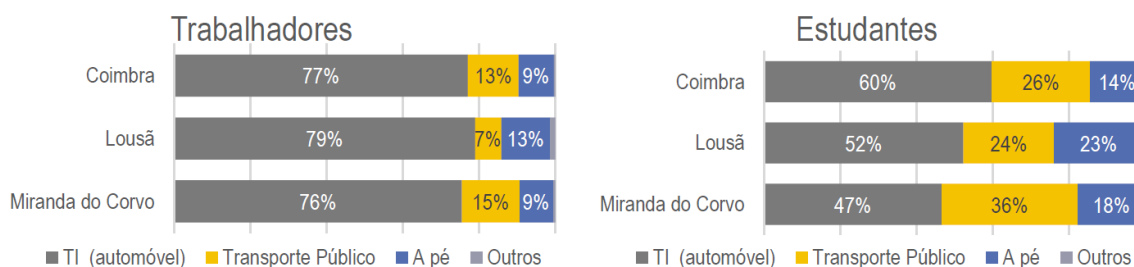


Figura 4.12 - Repartição modal entre casa-trabalho/ casa-escola, da população trabalhadora e estudante (TRENMO, 2017).

É possível constatar que o TI prevalece sempre, principalmente na população trabalhadora. Na população estudantil, destaca-se Miranda do Corvo onde o TC atinge a maior procura (36%), ainda assim inferior ao TI. Também o modo pedonal é bastante utilizado pelos estudantes. De notar que estas deslocações têm em conta os movimentos dentro das próprias freguesias, pelo que desta forma, se justificam as deslocações a pé.

Com o SMM prevê-se que haja uma transferência modal do TI para TC, tal como apresentado previamente (ver Quadro 4.8). Para isso importa garantir condições de circulação preferenciais, designadamente em termos de tempo de viagem. O Quadro 4.10, mostra os tempos de percursos realizados na ligação entre Serpins e Coimbra-parque (apanhando o troço suburbano Serpins/Alto de São João).

Quadro 4.10 - Comparação de tempos de percurso entre o metro ligeiro e *Metrobus* (LNEC & IPE, 2017).

	Metro ligeiro	<i>MetroBus</i>
Serpins	60 min	60 min
Lousã	53 min	51 min
Miranda do Corvo	39 min	36 min
Sobral do Ceira	23 min	17 min

Estes tempos de percurso apresentados pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil foram publicados em *Análise Comparada de Soluções Tecnológicas de Transportes para um Sistema de Mobilidade do Mondego Custo – eficiente – Fase II* (LNEC & IPE, 2017), verificando-se que, de forma geral, os tempos, no trecho suburbano associados ao *Metrobus* tendem a ser ligeiramente inferiores ao metro ligeiro. Esta contabilização de tempos, não deixa, contudo, de ser contraditória, em relação ao expectável. De facto e ao contrário, do metro ligeiro, que ao circular sobre carris permite manter a velocidade de circulação nos túneis, o *Metrobus*, mesmo provido de sistema de guiamento ótico, terá de baixar a velocidade de operação a 30km/h. Contudo, verifica-se que a velocidade de operação continua por estabilizar, designadamente nas pontes, o que dificulta a estimativa dos tempos previsíveis de percurso. Por isso, optou-se por desenvolver a análise comparativa tendo por base os dados oficiais apresentados pela Metro Mondego.

Optou-se assim por desenvolver a análise comparativa entre a solução *Metrobus*, relativamente à inicialmente prevista (metro ligeiro). A solução *Metrobus*, revela-se como a mais competitiva quando comparada com o metro ligeiro. Embora a referência de comparação que foi estabelecida na presente dissertação tenha sido o metro ligeiro, achou-se pertinente fazer também uma comparação, neste caso, aos serviços alternativos servidos por autocarros, que estão atualmente em funcionamento (ver Quadro 4.11).

Quadro 4.11 - Comparação de tempos de percurso entre os serviços alternativos e o *Metrobus* (LNEC & IPE, 2017)

	Serviços alternativos	<i>Metrobus</i>
Serpins	75 min	60 min
Lousã	50 min	51 min
Miranda do Corvo	40 min	36 min
Sobral do Ceira	20 min	17 min

Nesta situação, conclui-se que, mais uma vez, que a solução *Metrobus* é mais atrativa em termos de tempo de percurso. Apesar disso, o TI tenderá a apresentar-se como a solução mais rápida e, portanto, atrativa. Por um lado, a velocidade máxima em grande parte do percurso é superior à adotada pelo *Metrobus* (existem troços em que a velocidade máxima é 90 km/h). Por outro lado, as viagens em TI apresentam-se como mais diretas e flexíveis. Apesar disto, é espectável que,

dada a elevada frequência oferecida, se efetive a transferência modal do TI para o TC, sendo para isso fundamental garantir a competitividade em termos de custo, através de valores atrativos e com oferta de diversas modalidades para ajustar o custo do serviço às necessidades de cada utilizador. Se se admitir a transferência de 11 150 das viagens diárias (dos atuais serviços alternativos para o *Metrobus*) (TRENMO, 2017), isso traduz-se na poupança de 234 150 minutos por dia e 1 116 115 de horas por ano, tendo em conta o total de tempo poupado, de acordo com o Quadro 4.11. Por outro lado, a transferência de 11 150 das viagens diárias do TI para o *Metrobus* e tendo em conta que uma viagem de TI demora em média 37 min (Serpins e Lousã), 27 min (Miranda do Corvo) e 17 min (Sobral do Ceira), irá traduzir-se num aumento de 769 350 min por dia e 3 667 235 de horas por ano. Percebe-se que, face aos serviços alternativos, a nova solução apresenta vantagens relativas ao tempo que é poupado, no entanto e como era de esperar, a transferência modal do TI para o TC irá implicar um aumento da perda de tempo para realizar estas viagens.

De forma a concluir esta análise socioeconómica, importa refletir sobre os custos das viagens e de que maneira a solução *Metrobus* será mais vantajosa face ao transporte individual. Neste sentido, o Quadro 4.12 seguinte, pretende mostrar o custo de uma viagem realizada por um automóvel ligeiro nas quatro ligações principais a Coimbra (Coimbra-parque):

Quadro 4.12 - Custo médio de uma viagem realizada por um veículo ligeiro (ViaMichelin®, 2021)

	Distância	Custo de 1 viagem - só ida (veículo a gasolina)	Custo de 1 viagem - só ida (veículo a gasóleo)
Serpins – Coimbra	26 km	4,43 €	2,84 €
Lousã - Coimbra	28 km	4,47 €	2,86 €
Miranda do Corvo - Coimbra	21 km	3,16 €	2,03 €
Ceira - Coimbra	8 km	1,41 €	0,90 €

Considerando que a maioria das viagens é de carácter pendular relacionada com motivos de trabalho ou estudo, estima-se que ao fim do mês os custos do combustível atinjam os valores apresentados no Quadro 4.13. A estes valores haverá que adicionar os custos de manutenção e de depreciação dos veículos.

Quadro 4.13 - Custo de uma viagem ida e volta por tipo de combustível e ao final de um mês.

	Custo de uma viagem ida e volta (veículo a gasolina)	Custo de uma viagem ida e volta (veículo a gasóleo)	Custo de combustível a gasolina ao final de 1 mês	Custo de combustível a gasóleo ao final de 1 mês
Serpins – Coimbra	8,86 €	5,68 €	177,2 €	113,6 €
Lousã - Coimbra	8,94 €	5,72 €	178,8 €	114,4 €
Miranda do Corvo - Coimbra	6,32 €	4,06 €	126,4 €	81,2 €
Ceira - Coimbra	2,82 €	1,8 €	56,4€	36 €

Apesar do TI apresentar algumas vantagens, tais como o seu conforto, a segurança, a acessibilidade e flexibilidade ou ser mais rápido, verifica-se que os custos que lhe estão associados são significativamente mais elevados, comparativamente aos sistemas de transportes públicos (Quadro 4.13). A nova solução *Metrobus* deve por isso atender a estas questões, garantindo preços acessíveis a todos.

Na área metropolitana de Lisboa existem os cartões VIVA que têm à disposição um passe mensal chamado “Passe Navegante Metropolitano” com o custo de 40 €/mês. O mesmo preço é praticado pelo Metro do Porto. No que diz respeito ao atual sistema de transporte que serve a população, nomeadamente os serviços rodoviários alternativos ao ramal da Lousã, os preços que estão atualmente em vigor são bastante mais elevados (Quadro 4.14), embora se perspetive a sua redução, no médio prazo.

Quadro 4.14 - Valor mensal atualmente em vigor, praticado pelos serviços alternativos ao ramal da Lousã na ligação até Coimbra-Parque (Metro Mondego, 2020)

	Coimbra – Parque
Serpins	58,30 €
Lousã	49,50 €
Miranda do Corvo	35,90 €
Sobral do Ceira	34,70€

De facto, é expectável que por uma questão de justiça e de equidade social e territorial, os preços associados ao sistema *Metrobus*, não venham a ultrapassar o valor praticado nas grandes áreas metropolitanas.

Em síntese, destaca-se ainda que a nova solução BRT – *Metrobus*- terá um impacto positivo na sociedade e na economia, já que em termos globais, oferece às populações novas oportunidades de deslocação, globalmente mais atrativas. Nesse sentido prevê-se que a entrada ao serviço do *Metrobus* se traduza na transferência modal do TI para o TC.

Apesar do TI continuar a representar a solução mais rápida e flexível, o TC afigura-se como o mais económico e cómodo. A transferência modal do TI para o TC é por isso uma ação que depende de muitos fatores, onde a definição da bilhética assume um papel fundamental. Contudo também a crescente consciência ambiental e o envolvimento da sociedade deverá refletir-se cada vez mais na procura de modos ambientalmente sustentáveis, abdicando do conforto e do facilitismo associado ao veículo individual.

4.5 Propostas de medidas mitigadoras

No subcapítulo 4.3, foram identificados, dos quatro indicadores que se selecionaram, os principais impactes ambientais que poderão (ou que já estão a acontecer) com a entrada do novo

sistema *Metrobus*. Alguns destes, já tinham sido reconhecidos pelo RECAPE do *Sistema de Mobilidade do Mondego - Adaptação a uma solução BRT – Metrobus - Troço Alto de S. João/Serpins* e o respetivo Anexo 3: *Avaliação de Impactes Ambientais Decorrentes Das Alterações De Projeto*, embora e no âmbito do presente trabalho se tenham identificado outros impactes complementares.

Face aos impactes identificados, o ponto seguinte procura estabelecer algumas medidas que possam, total ou parcialmente, mitigar esses mesmos impactes minimizando as suas consequências e/ou efeitos (negativos).

4.5.1 Recursos Hídricos

Em primeiro lugar e de uma forma mais geral, como em qualquer obra, deve ser dada formação aos trabalhadores de forma a instruí-los de acordo com as boas práticas ambientais. O cuidado por parte destes, pode ser fundamental para evitar contaminações desnecessárias dos recursos hídricos. Devem ainda ser revistos todos os equipamentos/ maquinaria que não esteja em conformidade e que possa causar dano ambiental.

Especificamente em relação a este indicador e tendo em conta os impactes já identificados, são propostas as seguintes medidas mitigadoras:

- Antes da construção, devem ser identificados os pontos de água e os sistemas de captação e de seguida avaliar alguns aspetos relacionados com os mesmos, tais como a medição dos níveis freáticos. Devem ser tidos em conta, alguns estudos adicionais, nomeadamente as variações sazonais e ainda o regime de exploração dessas mesmas captações, para assim serem previstos os seus restabelecimentos face às obras que terão de ser feitas nessas mesmas zonas (APA et al., 2018a);
- Nos trabalhos que envolvem os movimentos de terra, em particular nas escavações, devem ser reforçadas as medidas de segurança ambiental (verificação de possíveis não conformidades em máquinas/veículos que possam causar derrame de óleos/resíduos tóxicos);
- O mesmo raciocínio aplica-se nas intervenções localizadas em zonas de atravessamento de linhas de água (pontes). O cuidado a ter com a maquinaria e veículos é extremamente importante e deve por isso, ser revisto regularmente, para que assim se evitem acidentes ambientais, em particular a contaminação da água;
- Deve ser garantida a desobstrução e limpeza de todos os dispositivos hidráulicos de drenagem que de alguma forma, possam ter sofrido alterações resultantes das obras (APA et al., 2018b);
- Monitorização da qualidade da água (em ambas as fases) e esta deve ser regular. Devem ser avaliados parâmetros tais como o pH, a temperatura, os níveis de oxigénio (CBO₅; oxigénio dissolvido), os sólidos suspensos totais, hidrocarbonetos dissolvidos, o nível

do caudal (nas águas superficiais), elementos como o cádmio, cobre, crómio e zinco, a cor e ainda a condutividade elétrica (APA et al., 2018b).

Reforça-se que a monitorização da qualidade da água é de extrema importância e deve ser realizada com regularidade. Para isso devem ser recolhidas amostras de água e submetidas a análise por parte de laboratório credenciado, nos termos previstos no Decreto – Lei n.º 83/2011, de 20 de junho (APA et al., 2018b).

4.5.2 Ruído

Neste indicador, os principais impactes apontados, estão relacionados com a fase de construção (maquinaria e veículos), com o ruído de rolamento (relação entre o pneu e o pavimento) e ainda nas zonas das principais paragens junto às habitações. Desta forma, as principais medidas que importam ser aplicadas, são:

- Deve ser garantido o cumprimento do horário laboral durante a fase de construção, para garantir que a incomodidade seja apenas naquele período;
- Devem ser escolhidos percursos que evitem a passagem nos aglomerados populacionais, para se realizar o transporte de materiais, equipamentos ou outros, para o destino da obra (APA et al., 2018b);
- A monitorização dos níveis de ruído das máquinas e veículos, devem ser também realizados, de forma a garantir que os indicadores de ruído (L_{den} diurno - entardecer – noturno) não são ultrapassados, de acordo com o estabelecido pela lei (Decreto – Lei n.º 9/2007);
- Para o ruído de rolamento, umas das medidas que poderá ser introduzida será no próprio pavimento, através da aplicação de pavimentos de baixo ruído - asfalto poroso, asfalto emborrachado (pavimentos poroelásticos) – que assegurem uma diminuição na ordem dos 3 a 10 dB segundo (Ögren et al., 2018);
- A monitorização dos níveis de ruído, deve-se estender à fase de exploração de forma a garantir que os estudos realizados comprovem a redução do ruído e não causem incomodidade à população envolvente;
- A população deve ser sensibilizada para, quando possível, optar pelos modos suaves de transporte (bicicleta (com ou sem motor), trotinete (com ou sem motor), a pé, ou outro) para que desta forma, se minimize o ruído causado pelos transportes individuais nos parques de estacionamento, pelo que devem ser também garantidos, lugares próprios para este tipo de transportes.
- Barreiras acústicas, caso se ultrapassem os valores legais previstos no Decreto-Lei n.º 9/2007.

4.5.3 Qualidade do ar

A qualidade do ar é um aspeto interessante, quando se pensa nesta solução *Metrobus*. À partida, tratando-se de veículos elétricos, as emissões locais serão zero e, portanto, neste campo não requer grandes preocupações. No entanto, foram apontados impactes que durante a fase de construção e exploração, merecem ser analisados e discutidos. Tendo em conta a identificação, seguem as seguintes propostas de medidas mitigadoras:

- Devem ser delineados os percursos para o transporte dos sedimentos e ter especial cuidado se se tratar de sedimentos de granulometria mais fina, já que existe o risco de se formar poeiras. Devem, por isso, evitar estradas que atravessem aglomerados populacionais e ainda cobrir ou humedecer a carga;
- Nos atravessamentos das localidades, as velocidades dos veículos de transporte devem ser moderadas /ajustadas de forma a reduzir as emissões de poeiras (APA et al., 2018b);
- Todos os equipamentos e veículos devem ser revistos, tal como tem vindo a ser mencionado nos outros pontos, de forma a garantir o seu bom funcionamento e evitar que gases poluentes sejam emitidos;
- Todos os resíduos produzidos durante a construção, devem ser devidamente encaminhados para os destinos finais (estes destinos devem ser definidos), minimizando desta forma a possibilidade de emissão de alguma substância nociva que possa comprometer a qualidade do ar;
- As queimas a céu aberto devem ser estritamente proibidas (APA et al., 2018b);
- Mais uma vez, a população deve ser sensibilizada para que, sempre que possível, optar pelos modos suaves de transporte, mesmo numa ótica intermodal, contribuindo desta forma para melhorar a qualidade do ar e diminuir a concentração de poluentes junto das paragens principais, que em particular na Lousã, se encontra junto de habitações. Um efeito desta transição de transporte é o aumento da qualidade de vida dos cidadãos já que contribui para o seu bem-estar físico e mental;
- Deve ser feita uma monitorização da qualidade do ar, na fase de exploração, de forma a controlar as emissões de exaustão e principalmente as de não-exaustão (relacionadas com a matéria particulada – PM),

4.5.4 Socioeconómicos

Este indicador envolve os aspetos sociais e económicos que o projeto traz, sendo espectável algumas mudanças nestas áreas. Foram apontados os potenciais impactes, relacionados sobretudo com a fase de exploração, tendo sido questionado os tempos de viagem, a procura, os custos, etc. De forma a reduzir os impactes que possam ocorrer, foram selecionadas medidas:

- A população deverá ser devidamente informada sobre o avanço do projeto, nomeadamente das obras que irão ocorrer e sobre tudo o que isso implicará (desvios alternativos, ruído das máquinas, etc.);
- Devem ser delineadas corretamente, as áreas onde irão ocorrer as obras, promovendo a segurança de todos;
- Apelar à transferência modal, informando sobre as vantagens da nova solução;
- Assegurar a segurança dentro e fora dos autocarros e de todo o sistema, fazendo sempre que seja necessário, as devidas manutenções;
- Garantir à população horários de funcionamento do *Metrobus* que sejam atrativos, de modo a incentivar ainda mais a transferência modal. Os horários devem ser flexíveis, de modo a satisfazer a população;
- O custo dos bilhetes do TC deve ser acessível a todos, garantindo que toda a população consiga ter acesso a este. O custo dos passes mensais, não devem ser superiores aos das áreas metropolitanas de Lisboa e Porto, já que se trata de aglomerados populacionais pequenos e de nível socio económico médio-baixo.

4.6 Considerações finais

A nova solução *Metrobus*, projeto do SMM, vem substituir a solução inicialmente prevista para os concelhos de Coimbra, Miranda do Corvo e Lousã, nomeadamente o metro ligeiro de superfície. Neste sentido, foi feita uma análise do projeto, nomeadamente do trecho suburbano entre Alto de S. João e Serpins. Concluiu-se que o *Metrobus* é uma solução que, de forma geral, assume um impacto positivo na sociedade e no meio ambiente. Os impactos mais negativos que foram identificados estão relacionados sobretudo com a fase de construção, destacando-se a contaminação da água em caso de acidente, o ruído gerado durante as obras e a incomodidade relacionada com os desvios das estradas habituais de passagem.

Na fase de exploração, aponta-se como um potencial impacto mais significativo, o facto das velocidades praticadas pelo *Metrobus*, não corresponderem ao que a sociedade espera, já que a velocidade máxima que irá atingir no trecho suburbano é de 70 km/h, baixando para 30 km/h nos túneis. Outro fator relevante é a bilhética a ser aplicável, já que a competitividade e a atratividade do sistema dependerá significativamente dos preços e modalidades de títulos criados. Só a conjugação destes diversos fatores garantirá que a implementação do *MetroBus* assegurará a acessibilidade a todos os cidadãos e promoverá o crescimento da economia local e regional, com melhoria da qualidade de vida, em geral.

Por fim, devem ser monitorizados alguns indicadores ambientais, como é o caso do ruído, recursos hídricos e qualidade do ar. Apesar de não se preverem alterações significativas com impactos negativos sobre o ambiente, a monitorização dos diferentes descritores é essencial para garantir a sua conformidade com o previsto.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A mobilidade é, hoje em dia, uma necessidade enraizada no quotidiano da população, e da qual depende fortemente o desenvolvimento socio e económico local. A mobilidade é assegurada pelo sistema de transportes, o qual, por razões ambientais e do clima, devem evoluir rapidamente no sentido da sustentabilidade ambiental e económica. Atualmente os modos de transporte urbanos são maioritariamente, movidos a combustíveis fósseis, tais como o diesel ou a gasolina e esta dependência tem assumido grandes consequências ambientais. O setor dos transportes, contribui, assim, com uma parte significativa das emissões de GEE para a atmosfera, sendo urgente travar esta tendência.

Neste sentido, a UE definiu metas ambiciosas com o objetivo de reduzir estas emissões, sendo uma das principais metas a neutralidade carbónica em 2050. Para tal, têm sido desenvolvidos alguns instrumentos com vista a atingir tal desiderato. O Pacto Ecológico Europeu, é direcionado a todos os Estados Membros e assenta nas mesmas linhas base. Muitas das soluções que são propostas por estes instrumentos, passam pela transferência modal, do TI para o TC e para os modos suaves (bicicleta, a pé, trotinete). Os jargões intermodalidade e a multimodalidade assumem na atualidade um papel central, ao defenderem a coordenação e interligação adequada entre os diferentes modos e operadores de transportes. Sistemas como o *Park&Ride* ou *Park&Metro*, são igualmente soluções eficazes, quando integradas com medidas complementares.

De forma a avaliar os impactes decorrentes da instalação de alterações ao sistema de transportes, foram identificados os principais descritores associados e definidas metodologias para a sua quantificação. A aplicação destes conceitos foi testada num estudo de caso, nomeadamente o sistema *Metrobus*, no trecho entre Serpins e o Alto de S. João. Foram selecionados quatro indicadores (recursos hídricos, ruído, qualidade do ar e socioeconomia) e identificados os principais impactes resultantes da sua aplicação. Dentro desses quatro indicadores, foram ainda selecionados três (ruído, qualidade do ar e socioeconomia) para serem alvo de uma avaliação pormenorizada (quantitativa e qualitativa). Esta solução do projeto SMM, do tipo BRT abrange os concelhos de Coimbra, Miranda do Corvo e Lousã, consiste na implementação de autocarros elétricos, com canal dedicado, a servir estes três concelhos.

Para avaliação dos níveis de ruído, a avaliação foi baseada na metodologia adoptada no projeto *Proyecto MOVÉS - Estudio comparativo de nivel de ruido generado por el transporte público convencional y eléctrico*, onde o principal objetivo era o de fazer uma comparação entre os NPS originados pelos transportes públicos (a diesel e elétricos) a que os utilizadores estão expostos (ruído interior) e à que a população na sua envolvente está também exposta (ruído exterior). Foi possível concluir que relativamente ao ruído exterior, os NPS nos veículos elétricos, tendem a

ser mais baixas a velocidades de circulação baixas (< 30 km/h), pelo que as vantagens dos veículos elétricos, serão maiores quando os autocarros estiverem próximos das paragens e em processo de arranque. Também em relação ao ruído interior, se verificou que a velocidades mais baixas, os veículos elétricos tenderão a ser mais vantajosos, nomeadamente em processo de arranque e aproximação de paragens. Tendo em conta que habitualmente os TC fazem o seguinte ciclo: parados – arranque (aceleração) – circulação – desaceleração e que o sistema BRT prevê o aumento da frequência e do número de paragens, é por isso expectável que a solução *Metrobus* (autocarros elétricos) acarrete impactes positivos, do ponto de vista acústico.

No que diz respeito à qualidade do ar, foi feito um estudo, nomeadamente à emissão de exaustão do PM₁₀, recorrendo ao modelo *ADMS-Roads*, a uma via rodoviária, localizada na Lousã (Rua Primeiro de Dezembro). Aí o principal objetivo foi o de tentar perceber de que forma o tráfego rodoviário contribui para a degradação da qualidade do ar, tendo em conta a transferência modal que se prevê do TI para o TC. Conclui-se que apesar dos valores de PM₁₀ estarem dentro dos limites estabelecidos na lei vigente, a transferência modal para o TC, irá reduzir o número de veículos em circulação nas estradas, pelo que a concentração deste poluente, deverá diminuir ainda mais.

Por fim, foi elaborada uma avaliação socioeconómica. Para tal recorreu-se a um estudo intitulado *Atualização da estimativa de procura do sistema de mobilidade do Mondego*. Concluiu-se que a solução *Metrobus* terá um impacte positivo na sociedade e na economia. Prevê-se ainda que, a implementação do BRT se traduza numa maior procura do TC e que a transferência modal do TI para TC seja mais acentuada. Perspetiva-se que o sistema de *Metrobus* venha a ser mais confortável, mais rápido e mais eficiente e eficaz face à solução inicial e face aos transportes alternativos, atualmente em funcionamento.

Por fim, são sugeridas algumas medidas mitigadoras dos impactes ambientais identificados. Os recursos hídricos, são muito sensíveis a modificações, pelo que na fase de exploração devem ser tidas em conta todas as precauções. Quanto ao ruído, o cumprimento do horário laboral durante a fase de construção, a monitorização dos níveis de ruído das máquinas e veículos, bem como uma posterior monitorização do ruído em fase de exploração, serão algumas das medidas que deverão ser impostas. A nível da qualidade do ar, devem ser definidos os percursos para o transporte de matéria e ter especial cuidado para o levantamento de poeiras durante a circulação. Por fim, a nível socioeconómico, deve ser disponibilizada à população toda a informação necessária relativa ao projeto, como os desvios que irão ser feitos. Em complemento, considera-se fundamental sensibilizar a população para as vantagens e necessidade de transferência modal, o que deverá exigir a definição de horários de funcionamento e de tarifas atrativos.

Importa ter presente que este trabalho representa um produto não acabado, sendo por isso essencial prosseguir com análises adicionais e complementares. Assim, considera-se relevante que em trabalhos futuros, se integre a monitorização da qualidade água, do ruído e da qualidade

do ar, durante a fase de exploração. Ao nível socioeconómico, considera-se que a realização de inquéritos à população de forma a perceber o grau de satisfação em relação ao projeto, poderá constituir uma boa ferramenta para identificação de eventuais lacunas e suas correções. Também a atualização da procura do TC, e, portanto, relacionado com a transferência modal do TI para TC, durante a fase de exploração.

Finalmente importa identificar novas metodologias expeditas para quantificação dos efeitos, numa clara aposta em métodos simples e suportados por variáveis e fatores de fácil obtenção ou quantificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACAP - Associação Automóvel de Portugal. (2018). *Estatísticas do Setor Automóvel*.
- António, J. (2012). *Acústica ambiental*.
- APA. (2010). *Projeto Mobilidade Sustentável Volume II - Manual de Boas Práticas Para Uma Mobilidade Sustentável*.
- APA, Portugal, I. de, Cultural, D.-G. do P., Centro, C. de C. e D. R. do, & Neves, I. S. de A. de E. A. B. (2018a). *ADAPTAÇÃO A UMA SOLUÇÃO BRT - METROBUS Alto de São João - Serpins: PROJETO DE EXECUÇÃO (RECAPE) VOLUME 1 – RESUMO NÃO TÉCNICO*.
- APA, Portugal, I. de, Cultural, D.-G. do P., Centro, C. de C. e D. R. do, & Neves, I. S. de A. de E. A. B. (2018b). Anexo 3: Avaliação de Impactes Ambientais Decorrentes das Alterações de Projeto. Em *Anexo 3: Avaliação de Impactes Ambientais Decorrentes Das Alterações De Projeto* (Vol. 3). <https://doi.org/10.2307/j.ctv6jmxbr.9>
- APA, Portugal, I. de, Cultural, D.-G. do P., Centro, C. de C. e D. R. do, & Neves, I. S. de A. de E. A. B. (2018c). *Sobre a Conformidade Do Projeto De Execução Do Sistema De Mobilidade Do Mondego - Adaptação a Uma Solução Brt - Metrobus - Troço Alto De S. João / Serpins com Declaração de Impacte Ambiental*.
- Baek, K., Lee, H., Chung, J. H., & Kim, J. (2021). Electric scooter sharing: How do people value it as a last-mile transportation mode? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 90(December 2020), 102642. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102642>
- Bergantino, A. S., Intini, M., & Tangari, L. (2021). Influencing factors for potential bike-sharing users: an empirical analysis during the COVID-19 pandemic. *Research in Transportation Economics*, December 2020, 101028. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2020.101028>
- Buehler, R., & Hamre, A. (2015). The multimodal majority? Driving, walking, cycling, and public transportation use among American adults. *Transportation*, 42(6), 1081–1101. <https://doi.org/10.1007/s11116-014-9556-z>
- Butler, L., Yigitcanlar, T., & Paz, A. (2020). Smart Urban Mobility Innovations: A Comprehensive Review and Evaluation. *IEEE Access*, 8, 196034–196049. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3034596>
- Can, A., L’Hostis, A., Aumond, P., Botteldooren, D., Coelho, M. C., Guarnaccia, C., & Kang, J. (2020). The future of urban sound environments: Impacting mobility trends and insights for noise assessment and mitigation. *Applied Acoustics*, 170, 107518. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107518>
- Cartaxo, T. de M. (2020). Políticas de mobilidade e transportes: entre a sustentabilidade e uma transição justa. *e-Pública: Revista Eletrónica de Direito Público*, 7(2), 219–239.
- Comissão Europeia. (2007). Livro Verde: Por uma nova cultura de mobilidade urbana. Em *Livro Verde* (Número COM(2007) 551 final). <http://eur->

- lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0551:FIN:PT:PDF
- Comissão Europeia. (2009). Plano de Acção para a Mobilidade Urbana. Em *COM(2009) 490 final* (Vol. 7, Número 1). <http://ci.nii.ac.jp/naid/110004000228/>
- Comissão Europeia. (2011). *Livro Branco: Roteiro do espaço único europeu dos transportes - Rumo a um sistema de transportes competitivos e económico em recursos*. <http://ci.nii.ac.jp/naid/110004000228/>
- Comissão Europeia. (2019). Pacto Ecológico Europeu. Em *Comissão Europeia*. <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>.
- Crainic, T. G., & Kim, K. H. (2007). Chapter 8 Intermodal Transportation. Em *Handbooks in Operations Research and Management Science* (Vol. 14, Número C, pp. 467–537). [https://doi.org/10.1016/S0927-0507\(06\)14008-6](https://doi.org/10.1016/S0927-0507(06)14008-6)
- Deng, T., & Nelson, J. D. (2011). Recent developments in bus rapid transit: A review of the literature. *Transport Reviews*, 31(1), 69–96. <https://doi.org/10.1080/01441647.2010.492455>
- Eccarius, T., & Lu, C. C. (2020). Adoption intentions for micro-mobility – Insights from electric scooter sharing in Taiwan. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 84(April), 102327. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102327>
- EEA. (1999). *Environmental indicators: Typology and overview*.
- EEA. (2003). *Environmental Indicators: Typology and Use in Reporting* (Número August).
- EEA. (2015). *Evaluating 15 Years of Transport and Environmental Policy Integration - TERM 2015: Transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe* (Número 7). <https://doi.org/10.2800/214970>
- EEA. (2019a). 1.A.3.b.i-iv Road transport 2019. *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 – Update Oct. 2020*, 53(9).
- EEA. (2019b). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019: Technical guidance to prepare national emission inventories. Em *EEA Technical report* (Número 12/2013). <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>
- EEA. (2019c). *The first and last mile — the key to sustainable urban transport* (Número 18). <https://doi.org/10.2800/200903>
- El-Harbawi, M. (2013). Air quality modelling, simulation, and computational methods: A review. *Environmental Reviews*, 21(3), 149–179. <https://doi.org/10.1139/er-2012-0056>
- Elbert, R., Müller, J. P., & Rentschler, J. (2020). Tactical network planning and design in multimodal transportation – A systematic literature review. *Research in Transportation Business and Management*, 35(September 2019), 100462. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2020.100462>
- Guarnaccia, C., Elia, L., Quartieri, J., & Tepedino, C. (2017). Time series analysis techniques applied to transportation noise. *Conference Proceedings - 2017 17th IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 1st IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe, IEEEIC / I and CPS Europe 2017*. <https://doi.org/10.1109/IEEEIC.2017.7977739>

- Hafiizh Nur, M. A., Hadiyoso, S., Belladina, F. B., Ramadan, D. N., & Wijayanto, I. (2020). Tracking, Arrival Time Estimator, and Passenger Information System on Bus Rapid Transit (BRT). *2020 8th International Conference on Information and Communication Technology, ICoICT 2020*, 11–14. <https://doi.org/10.1109/ICoICT49345.2020.9166375>
- Harrison, R. M., Allan, J., Carruthers, D., Heal, M. R., Lewis, A. C., Marnier, B., Murrells, T., & Williams, A. (2021). Non-exhaust vehicle emissions of particulate matter and VOC from road traffic: A review. *Atmospheric Environment*, 262(June), 118592. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118592>
- Huang, Y., Li, A., Wagner, T., Wang, Y., Hu, Z., Xie, P., Xu, J., Ren, H., Remmers, J., Fang, X., & Dang, B. (2020). The quantification of NO_x and SO₂ point source emission flux errors of mobile differential optical absorption spectroscopy on the basis of the Gaussian dispersion model: A simulation study. *Atmospheric Measurement Techniques*, 13(11), 6025–6051. <https://doi.org/10.5194/amt-13-6025-2020>
- IMT. (2011). Coleção de Brochuras Técnicas/ Temáticas: Tipologias de meios e modos de transporte. Em *Pacote da Mobilidade, Território, Acessibilidade e Gestão de Mobilidade* (p. 29).
- IMT. (2012). *Ciclando: Plano de Promoção da Bicicleta e Outros Modos Suaves 2013-2020*.
- IPCC. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Em *IPCC, Geneva, Switzerland*. [https://doi.org/10.1016/S0022-0248\(00\)00575-3](https://doi.org/10.1016/S0022-0248(00)00575-3)
- Kaparias, I., & Bell, M. G. . (2011). Key Performance Indicators for traffic management and Intelligent Transport Systems. Em *Isis* (Número 3). [http://www.transport-research.info/Upload/Documents/201204/20120402_174223_62254_D_3.5 - Key Performance Indicators for traffic management and ITS.pdf](http://www.transport-research.info/Upload/Documents/201204/20120402_174223_62254_D_3.5_-_Key_Performance_Indicators_for_traffic_management_and_ITS.pdf)
- Kazancoglu, Y., Ozbiltekin-Pala, M., & Ozkan-Ozen, Y. D. (2021). Prediction and Evaluation of Greenhouse Gas Emissions for Sustainable Road Transport Within Europe. *Sustainable Cities and Society*, 70(April), 102924. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102924>
- Klos, M. J. (2016). Estimation of effects caused by the implementation of Park and Ride system in the transport hub. *Transport Problems*, 11(3), 5–12. <https://doi.org/10.20858/tp.2016.11.3.1>
- Laib, F., Braun, A., & Rid, W. (2019). Modelling noise reductions using electric buses in urban traffic. A case study from Stuttgart, Germany. *Transportation Research Procedia*, 37(September 2018), 377–384. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.206>
- Lan, Y., Roberts, H., Kwan, M. P., & Helbich, M. (2020). Transportation noise exposure and anxiety: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Research*, 191(August), 110118. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110118>
- Lee, J., Lee, S., Son, H. A., & Yi, W. ho. (2021). Development of PUFF–Gaussian dispersion model for the prediction of atmospheric distribution of particle concentration. Em *Scientific Reports* (Vol. 11, Número 1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86039-y>
- LNEC, & IPE. (2017). *Análise Comparada de Soluções Tecnológicas de Transportes para um Sistema de Mobilidade do Mondego Custo-eficiente -Fase II*.

- Lobo, C., Cardoso, L., Lessa, D. A., & Miranda, G. C. (2020). Accessibility to the mass transit bus system: Indicators for the municipalities of the metropolitan periphery and zones of Belo Horizonte, Brazil. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 29(1), 190–206. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v29n1.76010>
- Lyu, P., Wang, P. (Slade), Liu, Y., & Wang, Y. (2021). Review of the studies on emission evaluation approaches for operating vehicles. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, xxx. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.07.004>
- Macioszek, E., & Kurek, A. (2020). The use of a park and ride system a case study based on the City of Cracow (Poland). *Energies*, 13(13). <https://doi.org/10.3390/en13133473>
- Marshall, S. (2000). The potential contribution of land use policies towards sustainable mobility through activation of travel reduction mechanisms. *Innovation*, 13(1), 63–79. <https://doi.org/10.1080/135116100111667>
- Mills, G., & White, P. (2018). Evaluating the long-term impacts of bus-based park and ride. *Research in Transportation Economics*, 69(November 2017), 536–543. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2018.07.028>
- Moreira, D. M., Tirabassi, T., & de Moraes, M. R. (2008). Meteorology and atmospheric pollution. *Ambiente e Sociedade*, 11(1), 1–13. <https://doi.org/10.1590/s1414-753x2008000100002>
- Moreno, C., Allam, Z., Chabaud, D., Gall, C., & Pratlong, F. (2021). Introducing the “15-Minute City”: Sustainability, Resilience and Place Identity in Future Post-Pandemic Cities. *Smart Cities*, 4(1), 93–111. <https://doi.org/10.3390/smartcities4010006>
- MOVÉS. (2021). *Estudio comparativo de nivel de ruido generado por el transporte público convencional y eléctrico*.
- Odisu, T., Okieimen, C. O., & Ogbeide, S. E. (2021). Oil spill model development and application for predicting vertical transport of non-volatile aliphatic hydrocarbons in stagnant water: Case of Nigerian Niger Delta mangrove swamps. *Marine Pollution Bulletin*, 164(October 2019), 111993. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.111993>
- Ögren, M., Molnár, P., & Barregard, L. (2018). Road traffic noise abatement scenarios in Gothenburg 2015 – 2035. *Environmental Research*, 164(March 2018), 516–521. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.03.011>
- Parlamento Europeu. (2012). *Bilhética Integrada Nos Serviços De Transporte De Passageiros De Longa Distância*.
- Parlamento Europeu. (2015). *Relatório sobre a criação de um sistema integrado de bilhetes para as deslocações multimodais na Europa*.
- Pinto, T. (2014). *Modelação de Poluentes Atmosféricos em Área Urbana do Concelho de Coimbra*.
- Pomoni, M., Laiou, A., Plati, C., Yannis, G., Loukea, M., & Bekiaris, E. (2020). Future trends in transport workforce based on demographic, behavioural, cultural and socioeconomic factors. *Transportation Research Procedia*, 48(2019), 2811–2820. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.237>

- Rahman, A., & Van Grol, R. (2005). SUMMA: Sustainable Mobility, policy Measures and Assessment. Em *Citeseer* (Número July). <http://www.tmleuven.be/project/summa/summa-d8.pdf>
- Ramos, A. L., Ferreira, J. V., & Barceló, J. (2011). Intelligent urban traffic: A guide through micro modelling approaches. *Conference Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 2767–2772. <https://doi.org/10.1109/ICSMC.2011.6084091>
- Reiter, M. S., & Kockelman, K. M. (2016). The problem of cold starts: A closer look at mobile source emissions levels. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 43(x), 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.12.012>
- República Portuguesa, Fundo Ambiental, & APA. (2019). Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050). Em *Estratégia de longo prazo para a neutralidade carbónica da economia portuguesa em 2050*.
- Ribeiro, F. N. D., Umezaki, A. S., Chiquetto, J. B., Santos, I., Machado, P. G., Miranda, R. M., Almeida, P. S., Simões, A. F., Mouette, D., Leichsenring, A. R., & Ueno, H. M. (2021). Impact of different transportation planning scenarios on air pollutants, greenhouse gases and heat emission abatement. *Science of The Total Environment*, 781, 146708. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146708>
- Riddle, A., Carruthers, D., Sharpe, A., McHugh, C., & Stocker, J. (2004). Comparisons between FLUENT and ADMS for atmospheric dispersion modelling. *Atmospheric Environment*, 38(7), 1029–1038. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2003.10.052>
- Samaras, Z., Ntziachristos, L., Burzio, G., Toffolo, S., Tatschl, R., Mertz, J., & Monzon, A. (2012). Development of a Methodology and Tool to Evaluate the Impact of ICT Measures on Road Transport Emissions. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 48, 3418–3427. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.1306>
- Santos, D. A., & Vargas, J. (2011). *Sistemas de Informação ao Público*.
- Seco, A., Antunes, A., Costa, A., & Silva, A. (2008). Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária: Princípios Básicos de Organização de Redes Viárias. Em *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Número 9).
- Seco, A., & Bastos, A. (2010). Efficient Solutions for Urban Mobility - Policies, Strategies and Measures. Em *Methods and Techniques in Urban Engineering*. <https://doi.org/10.5772/9567>
- Secrest, J. A., Conroy, J. M., & Miller, H. G. (2020). *Applying the Maximum Entropy Technique to the Gaussian Dispersion Plume Model*. <http://arxiv.org/abs/2010.11864>
- Soriguera, F., & Jiménez-Meroño, E. (2020). A continuous approximation model for the optimal design of public bike-sharing systems. *Sustainable Cities and Society*, 52(September 2019). <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101826>
- Staiano, M. A. (2001). Comparison of light rail and bus transit noise impact estimates per federal and industry criteria. *Transportation Research Record*, 1756, 45–56. <https://doi.org/10.3141/1756-05>

- Sustainable, T. (2020). *Questions and Answers: Sustainable and Smart Mobility Strategy. December*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_20_2330
- TCE. (2020). Mobilidade urbana sustentável na UE: o empenho dos Estados Membros é indispensável para a concretização de melhorias substanciais. Em *União Europeia*.
- Tchepel, O., Monteiro, A., Dias, D., Gama, C., Pina, N., Rodrigues, J. P., Ferreira, M., & Miranda, A. I. (2020). Urban aerosol assessment and forecast: Coimbra case study. *Atmospheric Pollution Research*, *11*(7), 1155–1164. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.04.006>
- TRENMO. (2017). *Atualização da estimativa de procura do sistema de mobilidade do mondego*.
- Trevisan, L., & Bordignon, M. (2020). Screening life cycle assessment to compare CO2 and greenhouse gases emissions of air, road, and rail transport: An exploratory study. *Procedia CIRP*, *90*, 303–309. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.100>
- United Nations. (1992). UN Conference on Environment & Development Rio de Janeiro, Brazil, 3 to 14 June 1992 Agenda 21. Em *Izvestiya - Akademiya Nauk, Seriya Geograficheskaya* (Vol. 6). <https://doi.org/10.4135/9781412971867.n128>
- Van Audenhove, F.-J., Koriichuk, O., Dauby, L., & Pourbarx, J. (2014). The Future of Urban Mobility 2 . 0 FULL STUDY. *Arthur D. Little, January*, 1–72.
- Vardoulakis, S., Fisher, B. E. A., Pericleous, K., & Gonzalez-Flesca, N. (2003). Modelling air quality in street canyons: A review. *Atmospheric Environment*, *37*(2), 155–182. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00857-9](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00857-9)
- Velaga, N. R., Rotstein, N. D., Oren, N., Nelson, J. D., Norman, T. J., & Wright, S. (2012). Development of an integrated flexible transport systems platform for rural areas using argumentation theory. *Research in Transportation Business and Management*, *3*, 62–70. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2012.05.001>
- Vilke, S., & Tadić, F. (2020). Review of Good Practices in the Introduction of Traffic Management Systems and Urban Mobility. *Journal of Maritime & Transportation Science*, *59*(1), 95–113. <https://doi.org/10.18048/2020.59.06>.
- Vulevic, A. (2016). Accessibility concepts and indicators in transportation strategic planning issues: theoretical framework and literature review. Em *Logistics & Sustainable Transport* (Vol. 7, Número 1, pp. 58–67). <https://doi.org/10.1515/jlst-2016-0006>
- Wang, S. D., Shen, Y. M., Guo, Y. K., & Tang, J. (2008). Three-dimensional numerical simulation for transport of oil spills in seas. *Ocean Engineering*, *35*(5–6), 503–510. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2007.12.001>
- Wang, S., Liu, X., Zhou, C., Hu, J., & Ou, J. (2017). Examining the impacts of socioeconomic factors, urban form, and transportation networks on CO2 emissions in China’s megacities. *Applied Energy*, *185*, 189–200. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.10.052>
- Wood, N., & Roelich, K. (2019). Tensions, capabilities, and justice in climate change mitigation of fossil fuels. *Energy Research and Social Science*, *52*(August 2018), 114–122. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.02.014>

World Commission on Environment and Development. (1987). *Our common future*.
<https://doi.org/10.4324/97819122812>

SITES CONSULTADOS

- ADFERSIT@ (2021). <https://adfersit.pt/noticia/332/o-setor-dos-transportes-na-descarbonizacao-da-economia-de-portugal>. Associação Portuguesa para o Desenvolvimento dos Sistemas Integrados de Transportes (página internet oficial), Lisboa.
- AEA@ (2021a). <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-air-pollutants-8/transport-emissions-of-air-pollutants-8>. Agência Europeia do Ambiente (página internet oficial), Copenhaga.
- AEA@ (2021b). <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-greenhouse-gases-7/assessment> . Agência Europeia do Ambiente (página internet oficial), Copenhaga.
- AEA@ (2021c). <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/exposure-to-and-annoyance-by-2/assessment-4>. Agência Europeia do Ambiente (página internet oficial), Copenhaga.
- AEA@ (2021d). <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/mobility-and-urbanisation-pressure-on-ecosystems-2/assessment>. Agência Europeia do Ambiente (página internet oficial), Copenhaga.
- CIVITAS@ (2021) <https://civitas.eu/content/e-ticketing-system-fully-operational-coimbra>. CIVITAS - Sustainable and smart mobility for all (página internet oficial).
- CERC@ (2021). <https://www.environmental-expert.com/software/adms-roads-comprehensive-software-for-road-traffic-pollution-modeling-18443>. Cambridge Environmental Research Consultant (página internet oficial), Cambridge.
- CE@, (2021). <https://www.consilium.europa.eu/pt/press/press-releases/2020/12/17/council-agrees-on-full-general-approach-on-european-climate-law-proposal/>. Conselho Europeu – Conselho da União Europeia (página internet oficial).
- CNU@ (2021). <https://www.cnu.org/publicsquare/2021/02/08/defining-15-minute-city>. Public Square – A CNU Journal (página internet oficial), Whashington.
- DI@ (2021) <https://www.diarioimobiliario.pt/Actualidade/Ciclovia-do-Mondego-vai-ter-mais-4-km-junto-a-Figueira-da-Foz> . Diário Imobiliário (página internet oficial), Portugal.
- EDF@ (2021). <https://www.edfenergy.com/for-home/energywise/electric-cars-and-environment>. (página internet oficial).
- ELTIS@ (2021). <https://www.eltis.org/discover/news/portugals-first-brt-set-braga>. The Urban Mobility Observatory (página internet oficial).
- ESS@ (2021). <https://www.ess.co.at/AIR-EIA/LECTURES/L001.html>. Environmental Software and Services (página internet oficial), Austria.

- INE@ (2021). https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_main. Instituto Nacional de Estatística (página internet oficial), Portugal.
- INRO@ (2021). <https://www.inrosoftware.com/en/products/emme/>. (página oficial internet).
- IMT@ (2021a). <http://www.imtip.pt/sites/IMTT/Portugues/Noticias/Paginas/Estrategiademobilidadesustentaveleinteligente.aspx>. Instituto da Mobilidade e dos Transportes, I.P (página internet oficial), Portugal.
- IMT@ (2021b). <http://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/TransportesRodoviaros/Transporte-Passageiros-Flexivel/LicenciamentodeEmpresas/Paginas/AcessoaAtividade.aspx>. Instituto da Mobilidade e dos Transportes, I.P (página internet oficial), Portugal.
- GIRA@ (2021). <https://www.gira-bicicletasdelisboa.pt/sobre-a-gira/>. Bicicletas de Lisboa (página internet oficial), Lisboa.
- NUMO@ (2021). <https://www.numo.global/>. New Urban Mobility alliance (página internet oficial), Washington.
- REA@ (2021a). <https://rea.apambiente.pt/content/transporte-de-passageiros?language=pt-pt>. Relatório do Estado do Ambiente – Portal do Estado do Ambiente (página internet oficial), Portugal.
- REA@ (2021b). <https://rea.apambiente.pt/content/parque-rodovi%C3%A1rio?language=pt-pt>. Relatório do Estado do Ambiente – Portal do Estado do Ambiente (página internet oficial), Portugal.
- ViaMechelin@ (2021). <https://www.viamichelin.pt/>. Via Michelin (página internet oficial).
- WU@ (2021). <https://www.wunderground.com/dashboard/pws/ILOUS3/table/2021-05-1/2021-05-1/daily>. Weather Underground (página internet oficial).
- QualAr@ (2021). <https://qualar.apambiente.pt/indices?estado=previsto>. QualAr – informação sobre qualidade do ar (página internet oficial). Agência Portuguesa do Ambiente.

LEGISLAÇÃO CONSULTADA

Decreto-lei n.º 1-A/2020 de 3 de janeiro de 2020. Dá continuidade em 2020 ao Programa de Apoio à Redução Tarifária nos transportes públicos. Diário da República n.º 2/2020, 1º Suplemento, Série I de 3 de janeiro de 2020. Presidência do Conselho de Ministros.

Decreto – Lei n.º 83/2011, de 20 de junho. Estabelece especificações técnicas para a análise e monitorização dos parâmetros químicos e físico-químicos caracterizadores do estado das massas de água superficiais e subterrâneas e procede à transposição da Diretiva n.º 2009/90/CE, da Comissão, de 31 de Julho. Diário da República n.º 117/2011, Série I de 20 de junho de 2011. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território.

Decreto – Lei n.º 9/2007. Aprova o Regulamento Geral do Ruído e revoga o regime legal da poluição sonora, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 292/2000, de 14 de novembro. Diário da República n.º 12/2007, Série I de 17 de janeiro de 2007.

Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de junho de 2002 relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente - Declaração da Comissão no Comité de Conciliação da diretiva relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente.

Lei n.º 72/2013. Código da Estrada. Diário da República n.º 169/2013, Série I de 03 de setembro de 2013.

Lei n.º 52/2015. Aprova o Regime Jurídico do Serviço Público de Transporte de Passageiros e revoga a Lei n.º 1/2009, de 5 de janeiro, e o Regulamento de Transportes em Automóveis (Decreto n.º 37272, de 31 de dezembro de 1948). Diário da República n.º 111/2015, Série I de 09 de junho de 2015.

Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020. Aprova o Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC 2030). Diário da República n.º 133/2020, Série I de 10 de julho de 2020. Presidência do Conselho de Ministros.

Resolução do Conselho de Ministros n.º 61-A/2015. Aprova a versão final revista do Plano Estratégico dos Transportes e Infraestruturas-PETI3+, para o horizonte 2014-2020. Diário da República n.º 162/2015, 1º Suplemento, Série I de 20 de agosto de 2015. Presidência do Conselho de Ministros.

Resolução da Assembleia da República n.º 3/2009, de 5 de fevereiro. Plano nacional de promoção da bicicleta e outros modos de transporte suaves. Diário da República n.º 25/2009, Série I de 5 de fevereiro de 2009. Resolução da Assembleia da República.

Resolução do Conselho de Ministros n.º 131/2019. Aprova a Estratégia Nacional para a Mobilidade Ativa Ciclável 2020-2030. Diário da República n.º 147/2019, Série I de 02 de agosto de 2019. Presidência do Conselho de Ministros.

ANEXO A

Quadro A.1- Distribuição da frota automóvel portuguesa de veículos ligeiros de passageiros em 2017, por idade (ACAP - Associação Automóvel de Portugal, 2018).

Idade	Distribuição
Até 1 ano	4,3%
De 1 a 2 anos	4,4%
De 2 a 3 anos	3,8%
De 3 a 4 anos	3,3%
De 4 a 5 anos	2,8%
De 5 a 10 anos	20,2%
De 10 a 15 anos	21,9%
De 15 a 20 anos	23,1%
Mais de 20 anos	16,2%