

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Indicadores de Mobilidade Urbana Sustentável da Área Metropolitana do Porto

Pedro Aléxis Rodrigues Vieira

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Dissertação orientada por:
Carla Silva

2022

“United we stand, divided we fall”

para os meus companheiros de ativismo
pela justiça climática que me acompanham
e motivam a viver de acordo com os meus princípios

Agradecimentos

Ao longo do meu trajeto académico muitas foram as pessoas que me apoiaram e que tornaram estes anos, numa agradável surpresa, pois quando me matriculei, por acaso, na FCUL, nunca esperei sair com a certeza de que deveria ter ingressado nesta faculdade, logo no início do meu percurso académico. Houve várias razões, que me levaram a concluir isto: uma delas foi a forma como todo o corpo docente esteve sempre disponível, com toda a simpatia, para tornar possível, a todos nós, alunos, concluir a longa tarefa que nos propusemos quando escolhemos o curso de Engenharia da Energia e do Ambiente; outra razão, talvez a mais importante, será o facto de nos terem formado para os desafios futuros, como em nenhum outro lado, fornecendo o substrato necessário para as nossas sementes crescerem. No meu caso, a semente, desde há muito tempo, foi a preocupação com as Alterações Climáticas e desde que estou na FCUL, consegui criar imensos laços de amizade com pessoas que partilham das mesmas preocupações, sendo que trabalhar e aprender sobre esse tema passou a ser o meu dia-a-dia, durante as aulas e fora delas e essa foi, sem dúvida, a minha maior motivação.

Por isso, estendo o meu agradecimento aos professores, investigadores, funcionários e todos os outros com quem me cruzei na FCUL, que sem exceção me ajudaram a evoluir como pessoa e como profissional e a conseguir ultrapassar todas as provas que me apareceram pelo caminho.

Não posso deixar, ainda, de dirigir um especial agradecimento ao aluno de doutoramento Ângelo Soares e à professora doutora Carla Silva, que me motivaram e apoiaram nesta fase final do curso com a apresentação da minha dissertação. E, ainda, ao professor doutor Miguel Brito, que me apoiou sempre que necessário.

Quero também deixar uma referência aos meus amigos do coletivo de justiça climática Climaximo, da PTRevolutionTV, do grupo Barroso Sem Minas e dos outros grupos associativos dos quais faço parte, que me motivam, cada dia, para me tornar num ambientalista mais consciente e capaz.

Também, à minha família que me apoiou, sem reservas, e à qual dedico todo o meu trabalho e dedicação. Aos meus amigos mais próximos, que estiveram sempre comigo e que estiveram sempre presentes. E a todos os outros, que de uma forma, ou de outra, acrescentaram boa disposição e alegria aos momentos mais fugazes, soltando um pouco das pressões que a vida académica nos traz.

A todos vós, os meus sinceros agradecimentos.

Resumo

O sector dos transportes contribui em 27% para as emissões de gases com efeito de estufa. Individualmente, é hoje o sector mais poluente. Isto deve-se, maioritariamente, à utilização de combustíveis fósseis para fornecer energia aos motores de combustão interna que representam 99% dos que circulam, atualmente.

Para atingir as metas assumidas de neutralidade carbónica em 2050, pela UE, é necessário reduzir em 90% as emissões de gases com efeito de estufa provenientes dos transportes, com o patamar de 55% previsto para 2030. Para isso, é necessário levar a cabo a implementação políticas que visem a descarbonização deste sector, como por exemplo a promoção da mobilidade suave, a oferta de melhores serviços de transportes coletivos e também, a proibição da venda de veículos a diesel e gasolina, programada na União Europeia para 2035. Essas políticas são variadas e adaptadas a cada contexto local sendo que as pelas cidades europeias mais importantes utilizam os Planos de Mobilidade Urbana Sustentável como uma ferramenta de apoio ao planeamento e decisão política. Para prever e controlar a eficácia das medidas implementadas utilizam-se conjuntos Indicadores de Mobilidade Sustentável, que permitem obter resultados quantitativos que permitem uma comparação entre medidas e diferentes espaços urbanos.

Nesta dissertação, são visitadas várias temáticas relacionadas com a mobilidade urbana sustentável, e como essas transformações, influenciam e são influenciadas por diversos fatores, que não podem ser isolados do compute geral que envolve a transição para uma sociedade de baixo-carbono. O impacte da eletrificação dos veículos em circulação no consumo energético e nas emissões de gases de efeito de estufa foi analisada, com o cálculo dos Indicadores. Concluiu-se que isoladamente esta transformação pode não ser suficiente para atingir os objetivos de descarbonização do PNEC mas admite-se que, não poderemos tirar conclusões absolutas pois a informação existente sobre os transportes em circulação na AMP é insuficiente.

Palavras-chave: Mobilidade Urbana Sustentável; Descarbonização; Eletrificação dos transportes; Indicadores de Mobilidade Urbana; Justiça Climática

Abstract

The transportation sector contributes 27% to greenhouse gas emissions. Individually, it is currently the most polluting sector. This is mainly due to the use of fossil fuels to power internal combustion engines, which represent 99% of the vehicles currently in circulation. In order to achieve the EU's 2050 carbon neutrality goals, it is necessary to reduce greenhouse gas emissions from transportation by 90%, with a target of 55% by 2030. This requires the implementation of policies that aim to decarbonize this sector, such as promoting soft mobility, providing better collective transportation services, and also banning the sale of gasoline and diesel vehicles, which is scheduled in the European Union for 2035. These policies are varied and adapted to each local context, and in the most important European cities, Sustainable Urban Mobility Plans are already being used as a tool for planning and policy decision-making. To predict and control the effectiveness of the implemented measures, Sustainable Mobility Indicators are used, which provide quantitative results and allow for comparison between measures and different urban spaces. This dissertation explores various themes related to sustainable urban mobility, and how these transformations are influenced and influence various factors, which cannot be isolated from the overall context of the transition to a low-carbon society. The impact of the electrification of vehicles in circulation on energy consumption and greenhouse gas emissions was analyzed, using the calculation of indicators. It was concluded that this transformation alone may not be sufficient to achieve the decarbonization goals of the PNEC, but it is admitted that we cannot draw absolute conclusions because the information available on the transportation in circulation in the AMP is insufficient.

Keywords: Sustainable Urban Mobility; Decarbonization; Transport electrification; Urban Mobility Indicators, Climate Justice

Nomenclatura

Siglas e acrónimos

AIE – Agência Internacional da Energia
APA – Agência Portuguesa do Ambiente
ACAP – Associação Automóvel de Portugal
BEV – *Battery Electric Vehicle* (Veículo elétrico a bateria)
CHP -Combined Heat and Power
CP – Comboios de Portugal
EM – Estados Membros da União Europeia
EUA – Estados Unidos da América
EV – Veículo elétrico (*Electric Vehicle*)
FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
GEE – Gases de Efeito de Estufa
G2V – Veículo-para-Rede (Grid-to-Vehicle)
IMT – Instituto de Mobilidade e Transportes
INE – Instituto Nacional de Estatística
IUC – Imposto Único de Circulação
IVA – Imposto Valor Acrescentado
ISV – Imposto Sobre Veículos
PAMUS – Plano de Mobilidade Urbana Sustentável
PCI – Poder Calorífico Interno
PHEV – Veículo Híbrido Plug-in (*Plug-in Hybrid Vehicle*)
PNEC – Plano Nacional Energia e Clima
PV – Energia Solar Fotovoltaica (do inglês, *Photovoltaic*)
SMP 2.0 – *Sustainable Urban Mobility Program*
STCP – Sociedade de Transportes Coletivos do Porto
UE – União Europeia
VRES – *Variable Renewable Energy Sources*
V2G – Rede-para-Veículo (Vehicle-to-Grid)
WBSC – *World Business Sustainability Council*
LED – *Light-Emitting Diode*

Índice

Agradecimentos	1
Resumo	2
Abstract.....	3
Nomenclatura.....	4
Índice	5
Índice de Figuras.....	6
Índice de Tabelas	7
1 Introdução.....	8
1.1 Enquadramento.....	8
1.2 Objetivos e Perguntas de Investigação	12
1.3 Organização do Documento	12
2 Revisão Bibliográfica	13
3 Métodos	19
3.1 Cenário de Referência (2017).....	19
3.2 Cenários Projetados.....	21
4 Resultados e Discussão	23
4.1 Cenário de Referência	23
4.1.1 Ligeiros de Passageiros	24
4.1.2 Autocarros públicos.....	25
4.2 Cenário 1	26
4.2.1 Ligeiros de passageiros.....	26
4.2.2 Autocarros públicos.....	27
4.2.3 Autocarros privados.....	28
4.2.4 Taxi.....	28
4.2.5 Motociclos	28
4.2.6 Indicadores	28
4.3 Cenário 2	29
4.3.1 Ligeiros de Passageiros	29
4.3.2 Indicadores	29
4.4 Cenário 3	30
5 Conclusões e Sugestões Futuras.....	31
6 Referências	33
Anexos	34

Índice de Figuras

Figura 1- Evolução do transporte de passageiros, em Portugal, no período 2001-2020	13
Figura 2- Ranking dos sistemas de mobilidade das maiores cidades com os Indicadores Arthur D. Little (fonte: A. D. Little).....	18
Figura 3 – Evolução das vendas de BEV e PHEV entre 2010 e 2020	25
Figura 4 – Frota de Autocarros da STCP, em 2021	25
Figura 5- Projeção da evolução do Parque Automóvel entre 2017 e 2050 – Cenário 1	26
Figura 6- Cenário 1 - Indicadores para Ligeiros de Passageiros 2017 -2050.....	27
Figura 7- Projeção da Frota de Autocarros, entre 2017 e 2050.....	27
Figura 8- Cenário 1 - Intensidade energética da frota de autocarros, entre 2017 e 2050	28
Figura 9- Cenário 1 – Evolução dos Indicadores, de 2017 a 2050.....	29
Figura 10- Projeção da evolução do Parque Automóvel entre 2017 e 2050 – Cenário 2.....	29
Figura 11 - Cenário 2 – Evolução dos Indicadores, de 2017 a 2050.....	30
Figura 12 - Cenário 3 – Evolução dos Indicadores, de 2017 a 2050.....	30

Índice de Tabelas

Tabela 1- Número de viagens, distância media e distância annual total para os diferentes modos de transporte.....	19
Tabela 2- Consumo energético e Emissões de GEE, em 2017.....	23
Tabela 3 – Indicadores SMP 2.0– Cenário de Referência, em 2017	23
Tabela 4 :Parque automóvel e vendas no período 2010-2020.....	24
Tabela 5 – Evolução da frota de Autocarros da STCP, entre 2017 e 2021	25

1 Introdução

1.1 Enquadramento

A energia abundante e barata, fornecida pelos combustíveis fósseis trouxe consigo um progresso que libertou a Humanidade dos trabalhos mais penosos, mas, ao mesmo tempo, verificou-se que se tratou de uma caixa de Pandora e atualmente existem fronteiras impostas pelos limites físicos do planeta que estão a ser ultrapassadas devido ao sistema de produção massivo que alimenta as necessidades vorazes das sociedades contemporâneas. Os padrões de consumo nem sempre foram assim tão elevados e muitas civilizações prosperaram, antes da máquina a vapor, num contexto de respeito pelos recursos que o planeta coloca à disposição e dos ciclos naturais dos diferentes biomas e sistemas físicos da terra.

No entanto, no final da Segunda Guerra Mundial deu-se uma onda de crescimento populacional exponencial, fazendo a Humanidade entrar num caminho sem retorno. Atualmente, diz-se que existem mais pessoas vivas no mundo do que já morreram, em todas as gerações anteriores. E esta é a responsabilidade com que temos de viver no quotidiano, pois não somos os donos do planeta, apenas o pedimos emprestado às gerações futuras. Isto significa que devemos reduzir a pegada ecológica para níveis mínimos por causa desta dívida, já tomada. Significa que a nossa ação coletiva irá ditar as condições que encontrarão as futuras gerações no planeta. Se estes ainda saberão o que é comer peixe do oceano, como muitos dos que nasceram na nossa geração, já não sabem o que é comer peixe de um rio, porque se extinguiu. E, se a memória permitir, que histórias vamos contar, quando formos velhos, e nos perguntarem como eram as estações do ano naquela altura. E como iremos responder quando perguntarem porque deixamos acontecer, isto a que assistimos, de forma distante, incapaz e serena, como se nada de anormal se passasse. Quais serão as probabilidades deste comboio a alta velocidade, em que seguimos, descarrilar? Qual será a nova via que será construída? Será que existe espaço para todos, nesse futuro programado, para lá do “milagre” da vida que existe na Terra? Qual será a resposta mais óbvia que podemos dar a estas questões, sem sermos rotulados de radicais, acusados de histeria e insensibilidade aos bons costumes e às necessidades imediatas do bem viver? Quais serão as consequências desta mensagem não chegar à maioria e ao poder que decide o caminho partilhado por todos?

Mudanças profundas na sociedade apenas ocorrem quando uma maioria invisível se afirma e a capacidade de influência destes aumenta de acordo com a força dos argumentos trazidos para a mesa. A confiança de que o caminho doravante será diferente pode não ser a maior, mas prevalece a vontade de mudança, resultante de uma prova inequívoca de que as catástrofes naturais a que assisto, são consequência de um sistema predatório, que nos deixa a todos mais vulneráveis às condições naturais mais extremas. Com os meus olhos, assisti aos incêndios devastadores, à seca extrema, à extinção de espécies e acreditei que isso poderia terminar com o fim dos combustíveis fósseis, mas depois vi cemitérios de animais selvagens, mortos para construir uma central solar, no Alentejo, e olhei mais atentamente e descobri que rios por todo o mundo não chegam ao mar devido às barragens e que a floresta Amazónica e as florestas primárias do Bornéu, estão a ser queimadas para dar lugar a monoculturas de sementes para biocombustíveis. Também me envolvi de perto com as pessoas que dependem da água que querem usar para a mineração de lítio, em Covas do Barroso e na Serra da Argemela. Posto isto, este não é um caminho exequível para uma transição energética justa. As alterações climáticas são o grande tema dos nossos tempos e é referido pelas mais altas patentes das instituições mundiais como um desafio sem precedentes que deve ser aproveitado para formar novas parcerias e não para alguém se aproveitar para fazer fortuna. É o momento certo para descentralizar e democratizar a produção energética. A sustentabilidade não pode ser uma maquilhagem. No futuro, quem será responsabilizado por ter defendido, por convicção ou enganado, este modelo predatório que destrói de forma irreversível as condições de vida no planeta? Este será, talvez, o momento mais cabal

para as aspirações humanas de encontrar o caminho para o futuro possível, sem que este seja uma realidade paralela, em que as consequências irremediavelmente necessárias do progresso, são defendidas por muitos decisores políticos, que negam as alterações climáticas e a defesa dos ecossistemas, e colocam barreiras de todos os tipos a uma solução conjunta, que respeite todos os afetados pela hecatombe ambiental, acreditando que estes serão silenciados e que os crimes cometidos contra o planeta cairão no esquecimento.

Os próximos anos podem, assim, ditar a queda ou a reafirmação do espírito de solidariedade e cooperativo da Humanidade. Esta década em que foi “decretado” o Antropoceno, que, quem sabe, poderá ser o período mais curto das eras geológicas, é também a década onde os impactes das Alterações Climáticas começaram a ser sentidos com maior intensidade. As atividades dos seres humanos na Terra são, hoje, o maior de todos os fatores de alterações registadas no sistema planetário e o conhecimento científico que sustenta esta afirmação, deve ser aplicado na condução de políticas rigorosas de controlo dos impactes ambientais das atividades humanas, incluindo uma contabilização mais eficaz dos orçamentos de carbono, com a proibição das novas infraestruturas e encerramento/controlo das atividades mais intensivas em carbono, e, ainda, impedir a destruição dos ecossistemas que sustentam a biodiversidade para dar lugar a megaprojetos de mineração, pois aqui reside, para lá, das armas de destruição massiva, o poder de arruinar a civilização como a conhecemos.

Alterações climáticas, Transição Energética e Mobilidade Urbana

A descarbonização do sector dos transportes tem uma importância central para atingir as metas de mitigação de longo-termo do Acordo de Paris e dos objetivos nacionais [1]. Muitos países estão a implementar políticas de eficiência energética no sector dos transportes, como o planeamento de sistemas de mobilidade e a promoção de melhorias tecnológicas, como a eletrificação do parque automóvel, com carros elétricos a bateria (BEV). Por exemplo, a Comissão Europeia instituiu que em 2035, todos os países da União devem proceder ao *phase-out* dos veículos a gasolina e a diesel. Assim, com a proibição da venda destes veículos, também os combustíveis fósseis terão o seu fim anunciado e o dióxido de carbono por eles emitido irá ser transferido para o abastecimento de eletricidade e outras fases da cadeia de valor [1]. Estas medidas assentam no facto de se prever que o sistema electroprodutor passe, nos próximos anos, a assentar em grandes quantidades de energia de origem renovável, ou outras fontes com menos emissões como nuclear. No entanto, há ainda um longo caminho a percorrer. Para além disso, os veículos recarregáveis, elétricos a bateria (BEV) ou híbridos plug-in (PHEV), têm outros problemas ambientais e sociais resultantes da mineração dos recursos e do processo produtivo, que requer um consumo energético intensivo, e dependendo das fontes primárias de energia utilizadas, poderá corresponder a grandes quantidades de emissões [1]. O ponto positivo é que durante a circulação, não existindo combustão no motor, têm Zero Emissões [2]. Por isso, todas as emissões associadas aos BEV (nesta dissertação, foi utilizado o fator de emissões 110 gCO_{2eq}./MJ), são resultantes do processo produtivo, que é influenciado pelas práticas utilizadas. Sendo este fator de emissão influenciado pela penetração de energias renováveis, no sistema electroprodutor, irá beneficiar com uma maior importância das mesmas.

Verifica-se que, de facto, os motores elétricos têm maior eficiência quando comparados com os motores de combustão interna que aproveitam, apenas, cerca de 1 em cada 5 litros de combustível no depósito, mais a energia que também é consumida com a extração e transporte até chegar aí enquanto que a eficiência dos motores elétricos é de, mais ou menos, 75% [2].

A transição para veículos elétricos (EV, do inglês, *electric vehicle*), para além de melhorar a intensidade energética dos transportes benéfica para reduzir o consumo e mitigar as alterações climáticas, tem também outras dimensões como: a melhoria da qualidade de vida dos habitantes e da saúde pública devido à melhoria da qualidade do ar e do ruído e a possibilidade de utilizar recursos

energéticos endógenos. Alguns dos benefícios que podem conduzir à rápida proliferação dos EV são: a menor necessidade de manutenção; uma melhor experiência de condução devido à ausência de trepidação e ruído do motor; e o acesso a todo um conjunto de incentivos que são implementados, de acordo com as políticas implementadas, como: incentivos à aquisição; carregamentos, estacionamento e portagens gratuitas; e/ou isenção de impostos como: Imposto de Valor Acrescentado (IVA), imposto único de circulação (IUC) e imposto sobre veículos (ISV). Por estas razões, segundo a AIE, a previsão de BEV em circulação, no mundo em 2030, serão entre 8-14% do parque automóvel, dependendo das políticas climáticas [4].

Para além disso os EV, constituem ser uma peça essencial para a transição energética e para os sistemas energéticos descentralizados, com os sistemas V2G (*Vehicle-to-Grid*) e G2V (*Grid-to-Vehicle*), e com os carregamentos a partir dos sistemas de produção de energia solar, individuais ou comunitários [5]. As baterias dos EV podem ainda ter uma utilização estacionária, que se prevê que ocorra após perderem, mais ou menos 80% da sua capacidade, ficando incapacitadas para a circulação dos veículos e por isso são substituídas, encontrando uma segunda vida [6].

Desta forma, estima-se que em cerca de duas décadas, os sistemas energéticos descentralizados (*Distributed energy systems*) estarão implantados na generalidade dos países [7]. A transição energética representa um poder disruptivo. Mais do que uma revolução na forma de gerar a energia, substituindo por fontes de energia renováveis, as poluentes fontes de geração convencionais, a transição promete alterar a abordagem global à energia, no contexto técnico: com a eficiência do consumo e a interação ativa dos consumidores na rede, a promoverem uma espécie de terceira Revolução Industrial.

Facilmente se relaciona a geração convencional, fóssil e nuclear, com o tradicional sistema centralizado, onde uma única central de grande capacidade produz e transmite eletricidade para todo o tipo de consumidores, numa determinada área, contrapondo-se ao novo sistema descentralizado viabilizado pelas fontes de energia renovável, veículos elétricos e autónomos e restantes melhorias tecnológicas, que permitem aos consumidores escolher e gerir a sua energia que no entanto deve ser controlada pelo sistema central, da *smart grid*, as centrais virtuais.

A integração em larga escala dos vários sistemas de energia descentralizados com produção renovável numa região requer o desenvolvimento de centrais virtuais que controlarão as pequenas produções locais articulando instantaneamente o consumo e a produção, nas redes de transporte e distribuição. [8] Estas centrais diminuem a necessidade de centrais de reserva, emitindo sinais de preço para estimular o consumo de energia, nas horas de maior produção renovável e caso não haja resposta, alguns polos de produção são desativados. As centrais virtuais serão uma espécie de posto de controlo das futuras redes ativas (*smart-grids*) que substituirão as obsoletas redes analógicas, traduzindo-se em 3 tipos de alterações técnicas principais, que integram o sistema de geração distribuída [7] :

- Redução do consumo:
 - Eficiência energética – consumos racionais, com aparelhos que aproveitam progressivamente melhor a eletricidade;
 - Gestão dos consumos – controlo dos períodos de utilização da energia para diminuir o stress na rede;
- Fontes de energia:
 - Produção localizada – geração distribuída;
 - Pequena escala – maior expressão do solar fotovoltaico em telhados (*roof-top PV, do inglês photovoltaics*), mini-eólica e mini-CHP (Central de cogeração, do inglês, *Combined Heat and Power*), gerador individual a diesel ou gás
- Armazenamento:
 - Bateria (pode ser do EV) ou outra tecnologia, armazena excesso energia gerada *in-situ*
 - Ou aproveita os preços baixos dos picos de produção.

Verificam-se, nos últimos anos, melhorias nestas tecnologias, que produzem produtos de maior eficiência, que por sua vez vão provocar uma maior adesão, estabelecendo-se, assim, uma economia de escala, que permite que os preços baixem e se tornem apelativos como foi o caso dos painéis fotovoltaicos com reduções superiores a 50% e nas baterias de ião-lítio de 80%, entre 2004 e 2013 [7].

Os recentes desenvolvimentos nas tecnologias da energia catalisam, assim, o avanço do mercado e por exemplo, nos Estados Unidos da América (EUA) um país fortemente atento ao custo-benefício e historicamente, alheio às questões da energia, os investimentos crescem anualmente, sejam em: painéis solares fotovoltaicos, lâmpadas de light-emitting diode (LED), medidores de consumo ou baterias ião-lítio o que fomenta cada vez mais a competição e inovação no mercado das tecnologias de energia descentralizada[7]. Por exemplo, Elon Musk, tornou-se no homem mais rico do mundo, ganhando parte da sua fortuna por compreender de forma eficaz a importância da transição energética, cativando os investidores, ao lançar uma gama de produtos revolucionários no mercado dos veículos elétricos pela Tesla.

No entanto, como já foi referido, apesar das melhorias, não se pode negligenciar os impactos sociais e ambientais negativos, das tecnologias da transição energética e os conflitos pelo controlo dos recursos energéticos, não termina nos combustíveis fósseis. Um estudo realizado pelo Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa (ISCTE), mostra que 90% dos jovens não são alheios a estas questões e estão preocupados com a transição energética justa e com as guerras dos recursos naturais.

A Organização das Nações Unidas elencou os 12 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, com 98 metas que vincam uma inter-relação entre eles. Do ponto de vista tecnológico é importante “até 2030, modernizar e reabilitar as indústrias para torna-las sustentáveis, com maior eficiência no uso de recursos e maior adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente corretos” e “facilitar o desenvolvimento tecnológico, a investigação e a inovação nacionais nos países em desenvolvimento”, reforçando, desta forma, uma cooperação internacional nas tecnologias verdes, nomeadamente “facilitando o acesso à investigação e às tecnologias de energia limpa, incluindo as energias renováveis, a eficiência energética e as tecnologias de combustíveis fósseis avançadas e mais limpas, e ainda promover o investimento em infraestrutura de energia limpa”, promovendo um sistema energético “universal, fiável e acessível para todos”, reduzindo assim as desigualdades existentes, ao nível dos rendimentos e das oportunidades. Esta cooperação deve também estender-se no sentido de proteger as populações mais pobres das catástrofes ambientais relacionadas, nomeadamente com a falta de água ou alimentos. Tudo isto só será possível com uma maior eficiência de recursos, nomeadamente nas cidades onde, atualmente, se concentra 55% da população, mas que em 2050, irá aumentar para 70%. É assim essencial um desenvolvimento mais sustentável e equitativo, assegurando que todos os cidadãos têm acesso aos serviços básicos de saneamento, energia, transporte, saúde e educação, num ambiente de segurança favorável ao desenvolvimento humano [9].

Podemos concluir que não podemos continuar a almejar o crescimento económico infinito, num planeta de recursos finitos. Anualmente, o *Global Overshoot Day* marca a data em que os recursos destinados ao ano decorrente foram totalmente gastos e uma dívida para com o planeta e as gerações futuras é acionada. Este ano foi no dia 27 de julho, data que se tem revelado cada vez mais cedo. Aqui, também podemos indicar um facto que está em íntima relação com a desigualdade no consumo de recursos entre regiões do globo, em que o consumo anual correspondente a 3 planetas dos EUA, contrasta com o meio planeta em África e a maior pegada aqui, serão as árvores cortadas para aquecimento e cozinhar, atividades que nos países mais desenvolvidos tem sido assistida por gás ou eletricidade. É por isso essencial que, desde já, as cidades, como locais de concentração da população, sejam alvo de mudanças significativas que promovam uma transição para uma economia/sociedade de baixo-carbono e podemos começar pela incorporação de medidas de promoção da eficiência energética e de energias renováveis nos transportes, que para além de descarbonizar pode facilitar uma maior

soberania energética aos países dependentes dos combustíveis fósseis com origem, muitas vezes, em regiões conflituosas do globo.

1.2 Objetivos e Perguntas de Investigação

O objetivo desta dissertação é contribuir para o estudo da mobilidade urbana sustentável, como uma das principais questões contemporâneas na mitigação das Alterações Climáticas. Ainda que existam outros objetivos que devem ser integrados nos Planos de Mobilidade Urbana Sustentável e adaptados à realidade local de cada centro urbano, como: a melhoria da qualidade de vida das populações, melhoria da qualidade do ar, ruído, reduzir a sinistralidade, o tempo perdido no tráfego, etc., os Indicadores escolhidos estão diretamente direcionados para analisar o impacto da eletrificação do parque automóvel, da frota de autocarros e restantes modos de transporte nos esforços de descarbonização, que se traduziram nas metas assumidas por Portugal, no Plano Nacional de Energia e Clima e no Acordo de Paris. Qual é a realidade atual, do sistema de mobilidade, em Portugal e na Área Metropolitana do Porto (AMP)?

Os planos de mobilidade sustentável devem ser assentes numa visão e objetivos concretos e aplicáveis ao contexto de cada local. Será que este Plano está adaptado às necessidades do Porto? Justifica-se a existência dos projetos de promoção da mobilidade suave e transportes coletivos, ou apenas a eletrificação resolve o problema da descarbonização?

Os Indicadores constituem ferramentas muito importantes na obtenção de uma avaliação quantitativa resultante das políticas implementadas. Assim, o cálculo destes dois Indicadores SMP 2.0 [20], de Eficiência Energética e Emissões Gases de Efeito de Estufa (GEE), assim como dos outros definidos pelo World Business Council of Sustainable Development (WBSC), em pesquisas futuras, se aplicados à mobilidade na AMP, podem contribuir no sentido de encontrar as soluções mais corretas para os problemas na mobilidade nessa metrópole. Qual é a resposta dos indicadores nos vários cenários projetados para a eletrificação dos transportes?

1.3 Organização do Documento

Na Secção 1 encontra-se a Introdução, iniciada por uma nota prévia. Depois enquadrei a minha dissertação nos Objetivos do Milénio, realçando o facto da mobilidade sustentável ser uma parte central da transição energética e da mitigação das Alterações Climáticas e como esta não deve ser dissociada de um modelo de desenvolvimento mais inclusivo e equitativo.

Na Secção 2, são apresentadas estatísticas sobre os transportes em Portugal, sobre o Plano de Mobilidade da AMP e dos Indicadores.

Na Secção 3, são apresentados os métodos de cálculo dos Indicadores, passo a passo, com tabelas e equações que me permitiram chegar aos resultados necessários para calcular a evolução dos indicadores.

Na Secção 4, são fornecidos os gráficos e tabelas obtidos relativamente aos consumos energéticos, emissões de GEE, composição das frotas de veículos e acompanhei com alguns comentários que me surgiram.

Na Secção 5, apresentei as Conclusões, acerca dos valores que obtive, confrontando os indicadores no cenário mais vanguardista, com as metas do Plano Nacional de Energia e Clima (PNEC) e sugeri algumas melhorias para completar a minha pesquisa, que permitiriam que esta comparação tenha maior exatidão, no sentido de conduzir as políticas para a mobilidade.

2 Revisão Bibliográfica

A concentração da população nos centros urbanos e periferias, torna a mobilidade num ponto central na vida das grandes cidades. A economia assente hoje, nos serviços (70% na União Europeia), depende muito dos veículos individuais que consomem energia, têm custos avultados, passam muito tempo parados e ocupam espaço nas grandes cidades, onde esse espaço é escasso. A transferência do transporte individual para o transporte coletivo é um dos objetivos a longo prazo do Plano Estratégico de Transportes e Infraestruturas que reconhece o desequilíbrio modal no transporte de passageiros, com forte prevalência do transporte individual e preconiza a oferta de serviços públicos de transporte de passageiros a nível local, regional e nacional que promova a migração do transporte individual para o transporte coletivo, com qualidade, níveis de oferta e de serviço adequadas à satisfação das necessidades das populações [10].

Os dados revelam, que em 2019, 88,3% das deslocações foi realizada com transporte individual rodoviário. Em Portugal, segundo os Censos 2011, 62% dos movimentos pendulares: casa-trabalho-casa; casa-escola-casa; são realizados com recurso ao transporte individual. A utilização dos transportes públicos tem aumentado anualmente, desde 2014, fruto de uma melhor oferta, oscilação do preço dos combustíveis e de uma maior adesão à ideia de sustentabilidade ambiental. As políticas aplicadas, nomeadamente com a redução das tarifas dos passes e a gratuidade para alguns escalões etários também influenciou esse crescimento, apenas travado pela pandemia, entre 2019 e 2021 [10].

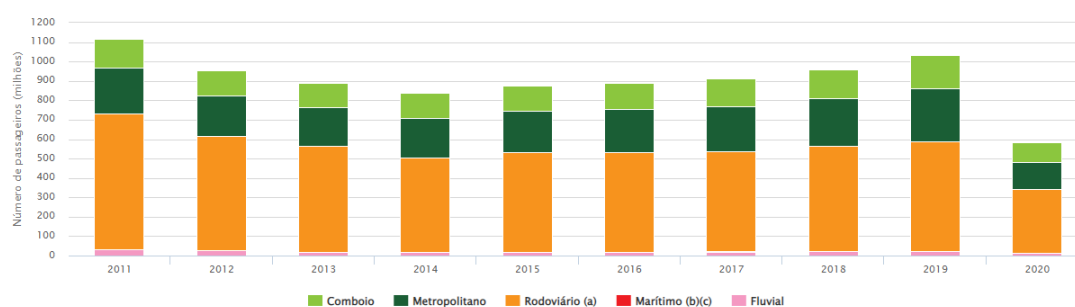


Figura 1- Evolução do transporte de passageiros, em Portugal, no período 2011-2020; fonte: APA, 2021

Muitas pessoas que habitam o espaço urbano, não têm acesso ao veículo individual devido à idade, à situação económica ou por opção pessoal. Portanto, a aposta no transporte individual é uma opção que tem sido revista pelas instituições europeias que, nos últimos anos têm promovido a mobilidade suave e os transportes públicos que também são apoiados por muitas instituições da sociedade civil. O sistema de transportes português, foi por esta aposta, considerado um dos menos preparados para fazer face aos desafios futuros da mobilidade apesar de ser o segundo país de Europa com maior rede de autoestradas per capita (0,3 km/hab.) e o quarto com maiores números absolutos (3.065 km). Assim, um dos maiores desafios será descarbonizar este sistema de vias de se tornar obsoleto, pela pressão institucional da UE e sociedade civil mas também pela instabilidade do preço do petróleo.

Área Metropolitana do Porto e Plano de Mobilidade

População na AMP

Observa-se que Portugal está a perder população com menos cerca de 250 mil habitantes, que representa uma perda de 2,5% registada nos Censos de 2021, relativamente aos Censos anteriores em 2011. As previsões do Instituto Nacional de Estatística (INE), apontam que para o ano de 2080, a população a residir em Portugal irá decrescer para os 8,2 milhões, o que representa uma queda de 2 milhões de pessoas, que segundo o mesmo estudo será população em idade ativa [15].

Atualmente, verifica-se que a globalidade do país, salvo alguns concelhos na periferia de Lisboa que constituem exceções, têm perdido população, com os municípios mais interiores a sofrerem mais perdas populacionais. Na cidade do Porto a população encurtou 7% (16.455) entre 2011 e 2019.

Podia ter-se verificado que à imagem do que acontece em Lisboa, que devido à pressão habitacional e ao aumento do preço das rendas, parte da população que saiu da cidade deslocou-se para a periferia, teoria sustentada pelos dados do aumento populacional em concelhos próximos da capital mas no entanto, os dados mostram que à imagem do que aconteceu no resto do país, a AMP perdeu 30.700 habitantes (1,75%), com apenas 2 municípios com aumentos populacionais relevantes: Valongo (3,03%) e Maia (2,23%) [15].

Os Censos 2021 revelam que em 2021, residiam na AMP 1.722.000 habitantes, cerca de 16% da população em Portugal, que, estimadamente, emitem 12% das emissões de GEE dos transportes.

Inquéritos à mobilidade

Os inquéritos permitem encontrar os padrões de mobilidade da população residente num determinado espaço e encontrar as necessidades comuns à maioria. Os dados mais recentes sobre a mobilidade do Porto datam de 2017, resultantes do Inquérito do INE. Em dezembro de 2022, estarão disponíveis os dados mais atualizados e completos dos Censos 2022. Assim, com estes dados é possível estabelecer padrões de mobilidade que podem apoiar os decisores políticos e restantes *stakeholders* no planeamento dos sistemas de mobilidade.

Plano de Mobilidade Urbana Sustentável

O Plano de Mobilidade Urbana Sustentável (PAMUS) é um plano estratégico concebido para satisfazer as necessidades de mobilidade dos cidadãos e das empresas nos centros urbanos e periferia visando uma melhor qualidade de vida que passa a ser o grande objetivo, ocupando o lugar central do tráfego.

Introduzidos em 2013, são uma poderosa ferramenta na política de mobilidade dados países membros da UE. Os PAMUS ajudam a enfrentar os desafios da mobilidade para uma determinada área urbana e preveem uma complementaridade com os Planos de Energia e Clima, no sentido do cumprimento das metas e objetivos do Novo Pacto Verde Europeu e da Estratégia de Mobilidade Inteligente [16]. Nos últimos anos, assistimos à multiplicação dos instrumentos de apoio e das instituições que desenvolvem com junto das comunidades e municípios os seus PAMUS, encontrando pontos fortes e fracos a melhorar.

Um trabalho que deve continuar a ser desenvolvido pois uma avaliação permite perceber que ainda existe um longo caminho para se atingir tal complementaridade, que beneficiaria o alcance dos objetivos propostos pelos vários planos. A aplicação e a qualidade dos PAMUS, não é uniforme e muitas cidades dos Estados Membros (EM) ainda não realizaram os seus planos. Existe também uma

necessidade de aproximar os planos de logística urbana aos PAMUS. Esta falta de avanço deve-se à lei não ser vinculativa.

A Comissão Europeia (CE) encoraja os EM a aplicarem um plano nacional de mobilidade, de longo-termo, com todas as funcionalidades de um organismo independente. As organizações, como: empresas, hospitais, escolas ou atrações turísticas também são encorajadas a desenvolver planos de gestão da mobilidade que promovam medidas de baixo e zero-carbono, como a mobilidade ativa ou partilhada e a utilização de transportes coletivos [17]. Assim observamos que, atualmente, a emergência climática, mais do que uma série de medidas avulsas, obriga os municípios e Estados a investirem no desenho de todo um novo sistema de mobilidade para descarbonizar a mobilidade das suas cidades.

Plano de Ação de Mobilidade Sustentável da Área Metropolitana do Porto

No PAMU do AMP podemos observar quais são os principais problemas e prioridades assumidas para o respetivo território. Estes, foram identificados por um conjunto de indicadores estatísticos suportado em dados oficiais existentes do INE e outras entidades públicas, como aliás foi feito na presente dissertação. Desta forma, podemos observar um conjunto de problemáticas relativas aos vários temas da mobilidade, como: os transportes coletivos, mobilidade suave, interfaces e intermodalidade, segurança rodoviária, estacionamento, gestão da mobilidade e sistemas de transporte inteligentes e a forma como a entidade intermunicipal responsável pela gestão da mobilidade os procurou resolver.

A Área Metropolitana do Porto, está inserida na Região Litoral Norte de Portugal. Tem uma área total de aproximadamente 2 040 km², dividida por 17 municípios (Porto, Vila Nova de Gaia, Gondomar, Matosinhos, Maia, Póvoa de Varzim, Paredes, Santo Tirso, Vila do Conde, Espinho, São João da Madeira, Santa Maria da Feira Oliveira de Azeméis, Trofa, Vale de Cambra, Valongo e Arouca) onde no total vivem 1.722.000 habitantes.

Dados sobre a mobilidade na AMP retirados do PAMU da AMP

Censos 2011

- Em 2011, cerca de 66% das deslocações pendulares, foram feitas no interior do município de residência e os restantes 34% trabalham ou estudam noutra concelho.
- Relativamente aos municípios que apresentam maior dependência do transporte individual, nessas deslocações encontra-se a Maia (69,9%), Oliveira de Azeméis (72,7%), Santa Maria da Feira (72,4%) e Vale de Cambra (74,9%). No Porto (51,4%) essa dependência foi inferior à média da AMP (62,5%).
- 57% das deslocações nos municípios da AMP eram inferiores a 15 minutos. A população que efetua estas deslocações de curta duração constitui um potencial público-alvo a cativar para a utilização dos modos de deslocação suaves (andar a pé e de bicicleta) [18].

Rede pedonal e ciclável

A rede pedonal na AMP é heterogénea, concentrada nos núcleos mais urbanizados e povoados e nos meios rurais as deslocações pedonais são dificultadas devido às distâncias e escassez de equipamentos: passeios, passadeiras e semáforos, entre outros.

Relativamente à rede ciclável verifica-se que a maioria é destinada à utilização desportiva e recreativa, junto ao litoral. Apenas em casos pontuais existe uma rede ciclável que promova a sua

utilização para as deslocações do quotidiano, nos principais polos habitacionais. O aumento e integração dos troços da rede ciclável em espaço urbano é equacionada no PAMU [18].

Transportes coletivos

Assim, no que concerne aos transportes coletivos rodoviários, a rede da STCP ocupa uma posição de charneira na AMP, sendo a empresa pública de transportes que opera uma rede que serve os concelhos do Porto, Matosinhos, Vila Nova de Gaia, Maia, Valongo e Gondomar. Esta rede é constituída por 72 linhas, com uma extensão de rede de 480 km, com 2 454 paragens e uma frota de 435 autocarros.

A restante rede de transportes coletivos rodoviária tem 34 empresas registadas, e é composta por um total de 1 283 linhas, que compõe uma extensão total da rede, incluindo a STCP, de 35 808km e 72 018 paragens.

O Metro do Porto é uma rede de escala metropolitana e serve diretamente os concelhos do Porto, Vila Nova de Gaia, Matosinhos, Maia, Gondomar, Vila do Conde, Póvoa de Varzim. A rede de metro possui 81 estações e é utilizado por 56 923 milhões de passageiros/ano sendo que a maioria dos clientes do Metro do Porto reside nos concelhos do Porto (27,1%), Vila Nova de Gaia (20,0%) e Matosinhos (13,6%). [18]

Comboios urbanos

A rede de transporte ferroviário que serve a AMP é gerida pelas Infraestruturas de Portugal, I.P., que detém a concessão dos Comboios de Portugal (CP) e é constituída pela linha do Norte, a linha do Douro, a linha do Minho e a linha do Vouga. [18]

Interfaces

O conceito-chave subjacente a este plano de ação, na presente ponto, tem como objetivo identificar os interfaces que promovam a integração das várias redes de mobilidade, tornando mais fácil toda a acessibilidade ao território pelo desenvolvimento de um ponto onde confluem as redes dos diversos modos e operadores de transporte e formas de mobilidade

Uma interface de transporte constitui-se como um importante ponto de conexão das redes, por se constituir como o ponto de articulação entre diferentes subsistemas, incluindo paragens de transporte coletivo rodoviário, estações de metro e estações ferroviárias.

As interfaces mais importantes são: o Aeroporto Internacional Francisco Sá Carneiro que é um dos polos fundamentais nas ligações a toda a região Norte, ligando-se também às redes rodoferroviárias, como o Metro e os autocarros que fazem os transportes para o centro do Porto; e a estação de Campanhã que liga as redes de transporte ferroviário nacional da CP (Alfa Pendular e Intercidades), as redes de transporte regional (intercidades e urbanos do Porto), com a rede de Metro do Porto e demais serviço rodoviários de distribuição local.

Destacam-se ainda os interfaces de São Bento, no Porto, e General Torres, em Gaia, como ligação às redes regionais e nacionais e as estações da Trindade, Casa da Música, Hospital de São João e Parque das Camélias (todas no Porto) e nas Devesas (em Gaia) que também desempenham importantes ligações aos concelhos da AMP [18].

Estacionamento

O estacionamento faz parte integrante da cadeia de mobilidade em veículo próprio, pelo que, quanto maior for a dependência da população face ao automóvel para as suas deslocações diárias, maiores serão as necessidades em termos de oferta de lugares de estacionamento, nomeadamente nos principais centros de atração da cadeia de viagens. Estima-se que existam cerca de oitocentos mil veículos, com necessidade de estacionamento na origem e no destino da sua deslocação. [18]

Anteriormente, as soluções encontradas em matéria de falta de estacionamento foram no sentido de aumentar da oferta para responder a um pedido sempre crescente de espaço para o automóvel. A distribuição do espaço público fez-se em proveito do automóvel, incentivando assim a sua utilização, que se traduziu num aumento do número de veículos, sem que, no entanto, se resolvessem os problemas associados ao seu uso. Estes tenderam a tornar-se cada vez mais complexos e agudos em determinados locais, nomeadamente, nos centros históricos e em grandes geradores de tráfego, sem parques com capacidade suficiente face ao seu potencial de atração. Assim, o estacionamento constitui um fator essencial da política de mobilidade sustentável em que o objetivo de redução da carga de tráfego automóvel de 20% não se conseguirá atingir sem uma política de estacionamento rigorosa e cuja organização deve ser concebida à escala metropolitana e materializada no terreno ao nível municipal e local [18].

A implementação de uma política alargada de Park & Ride nas interfaces deverá ser privilegiada, com parques seguros próximos dos locais de embarque e de desembarque dos passageiros e, caso sejam pagos, com integração tarifária do título de transporte com o pagamento de estacionamento de longa duração [18].

O que são Indicadores de Mobilidade?

Os indicadores permitem uma compreensão geográfica e temporal da mobilidade urbana. Apesar dos diferentes contextos urbanos em que são utilizados, estes conseguem adaptar-se e fornecer uma imagem fiável que aumenta o conhecimento sobre os sistemas de mobilidade permitindo a deteção de problemas e/ou falhas operacionais que conduzem a impactos sociais e ambientais. Assim, os índices de mobilidade, como aquele que foi utilizado (SMP 2.0 - WBCSD), podem ser considerados elementos-chave na orientação do processo de decisão política na gestão da mobilidade urbana, principalmente nos grandes centros urbanos. Por isso, estes devem ser definidos e quantificados pelos técnicos e fáceis de interpretar para assim, conseguirem fornecer essa imagem fiável da situação atual, que permite a comparação com outros sistemas e indicadores utilizados, e entre cenários futuros que permitem identificar as melhores políticas a serem seguidas.

Assim, existem vários conjuntos de indicadores, que serão apresentados sucintamente:

Em Portugal, o Instituto de Mobilidade e Transportes (IMT), entidade pública com responsabilidades em praticamente todas as matérias relacionadas com a mobilidade, incluindo a aplicação e monitorização de políticas, apoio ao processo legislativo, gestão de contratos de concessão, etc. em Portugal definiu um conjunto simples de 7 indicadores, entre os quais: transportes públicos, mobilidade pedonal e acessibilidade, mobilidade ciclável, planos e projetos, acalmia de tráfego e sensibilização. Este conjunto de indicadores não dispõe de um sistema métrico, apresentando-se apenas como uma forma de avaliação qualitativa dos sistemas de mobilidade. Outro conjunto de indicadores, é o Joint Research Center (JRC), instituição científica da Comissão Europeia responsável por apoiar as políticas da UE. No entanto, este é já um sistema mais complexo com 55 indicadores, divididos por 5 categorias: ambientais, sociais, económicas, técnicas e operacionais e institucionais.[19]

Os indicadores SMP 2.0 do WBCSD utilizado na presente dissertação, no contexto da Área Metropolitana do Porto, define 19 indicadores repartidos por 4 dimensões. Deste conjunto apenas foi proposto o cálculo de 2 – Intensidade Energética (MJ/p.km) e Emissões de Gases de Efeito de Estufa (tonCO₂/hab) existindo uma estreita correlação entre ambos. [20]

Outro conjunto de indicadores foi definido pela consultora multinacional Arthur D. Little, que avalia de forma quantitativa, de 0 a 100, 27 indicadores divididos por 3 categorias: Performance; Maturidade; e Inovação. Desde 2010, que é aplicado pela consultora, fornecendo soluções e uma comparação de diferentes centros urbanos, na qual podemos realçar as boas pontuações dos sistemas de mobilidade de

Indicadores de Mobilidade Urbana Sustentável na Área Metropolitana do Porto

ciudades como Amsterdão, Estocolmo, ou até Londres. As análises efetuadas à bibliografia, permitem concluir que apesar de existir vontade é difícil atender a objetivos muito ambiciosos, pois numa pontuação até 100, a cidade melhor classificada será Singapura, com 60, e mesmo assim, esta classificação é sobreavaliada devido à área da cidade relativamente pequena, que inflaciona o valor de indicadores como a extensão de ciclovias por quilómetro quadrado. [21]

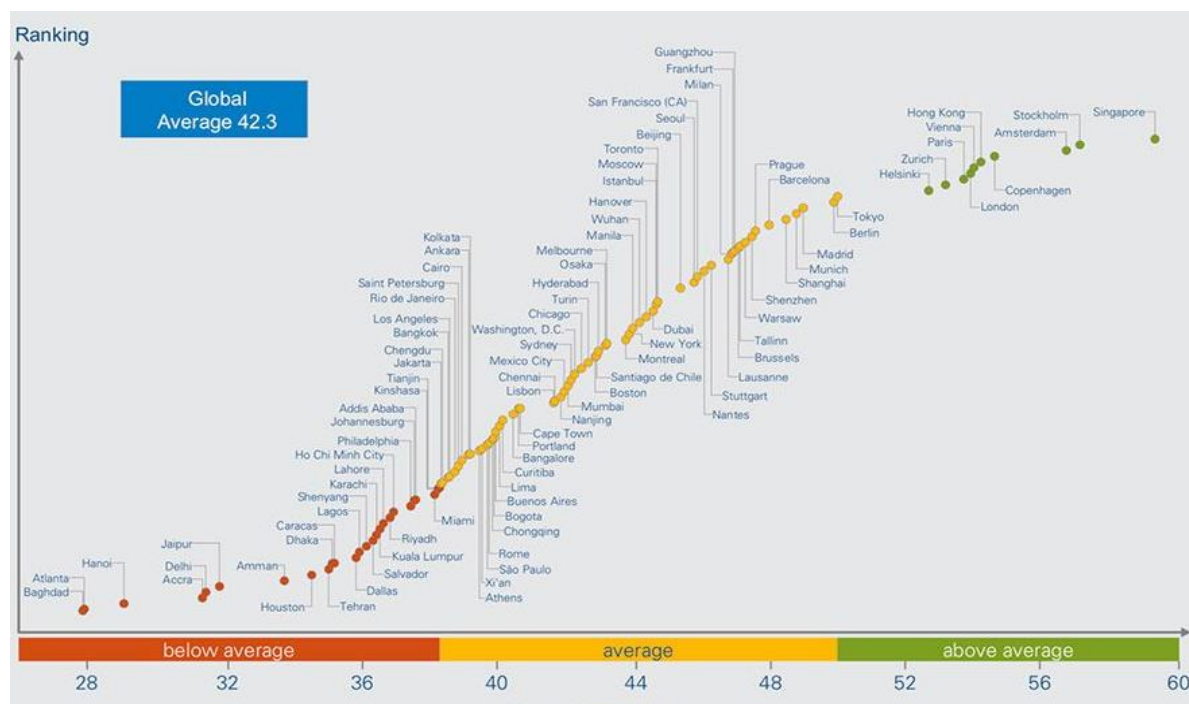


Figura 2- Ranking dos sistemas de mobilidade das maiores cidades com os Indicadores Arthur D. Little (fonte: A. D. Little)

Dois conjuntos de indicadores são o da Universidade de Monash e o Instituto de Políticas de Mobilidade de Victoria, na Austrália. Estes dois conjuntos são divididos em 4 categorias: Ambiente; Social; Económico, para ambos. A quarta categoria dos indicadores da Universidade de Monash será a Eficácia do Sistema, enquanto que para o Instituto referido será o Bom Planeamento e Gestão do Sistema.

Segundo a bibliografia consultada em [22], um dos indicadores mais amplamente utilizados seria, à data, o IMUS – Índice de Mobilidade Urbana Sustentável, desenvolvido, em 2008, por M. S. Costa, na Universidade de São Paulo. Este é caracterizado pela sua capacidade em avaliar e ao mesmo tempo monitorizar a mobilidade urbana. É considerado, pelos técnicos e gestores, de fácil manipulação pois permite avaliar as necessidades atuais, em termos de condições e impactes indicando as medidas ambientais e sustentabilidade a seguir. Consiste em 9 categorias, com 37 temas e 87 indicadores, todos relacionados com aspetos tradicionais da mobilidade e sustentabilidade urbana. No mesmo artigo, também são referidos o Mobility Impact Index, Sustainable mobility rates, Sampling Mobility Index, Mobility Index for Environmental Effects, Sustainable Urban Mobility Index, Index for strategic management of sustainable urban mobility, Urban mobility index, Urban Core Index, Mobility Impact Index [11].

3 Métodos

3.1 Cenário de Referência (2017)

Para calcular os indicadores SMP 2.0, de Intensidade energética (MJ/p.km) e Emissões de Gases de Efeito de Estufa (tonCO₂eq./cap.) foram utilizados os dados fornecidos pelo inquérito do INE, disponibilizado no relatório “Mobilidade e funcionalidade do território nas Áreas Metropolitanas do Porto e de Lisboa” [22] relativo ao número de viagens efetuadas, à média de quilómetros dessas viagens e os modos de transportes utilizados nas deslocações realizadas aos habitantes da Área Metropolitana do Porto, em 2017.

Com base nesses dados, obtiveram-se o número de quilómetros totais percorridos em cada uma das categorias de transporte analisados: automóvel, motociclo, táxi, autocarro público, autocarro escolar/empresa, comboio e metro. Seguidamente, para ir de encontro às diretrizes cálculo dos índices escolhidos, associou-se o consumo unitário, em MJ/km de cada um dos modos de transporte, por unidade de distância percorrida.

Tabela 1- Número de viagens, distância média e distância annual total para os diferentes modos de transporte

Modo	Passageiros [p]	Distância média [km]	Distância percorrida anualmente [p.km]
Automóvel	2317648	11,5	9 770 682 445,00
Motociclo	46161	7,4	124 680 861,00
Táxi	6027	8,7	19 138 738,50
Autocarro público	232647	10	849 161 550,00
Autocarro - transp. Emp./esc.	47910	23,6	412 696 740,00
Comboio	27173	31	307 462 495,00
Metro	67707	9,4	232 302 717,00
Avião	1466	852,2	456 003 698,00
Total			11 716 125 546,50

$$\text{Distância anual total (p.km)} \times \text{Consumo unitário (MJ/Km)} = \text{Consumo energético total (MJ/Km)} \quad [3.1]$$

No caso do diesel B7, da gasolina E10 em que os consumos médios fornecidos geralmente aparecem em L/km, ou até L/100 km, foi necessário proceder a sua conversão, utilizando o Poder Calorífico Inferior (PCI).

$$\text{Consumo médio unitário (L/km)} \times \text{PCI (MJ/L)} = \text{Consumo m. unitário (MJ/km)} \quad [3.2]$$

A inexistência de uma base de dados, que discriminasse ao pormenor as informações referentes aos transportes em circulação na AMP, fez com que o presente estudo tivesse como base o consumo energético e consequentes emissões de gases de efeito de estufa dos modelos mais frequentes e maioritários, como por exemplo: a frota da Sociedade de Transportes do Concelho do Porto (STCP), que opera nos 4 concelhos mais centrais, dos 17 concelhos da AMP, para o caso dos autocarros; ou os modelos mais vendidos de EV e PHEV.

Para o caso dos ligeiros de passageiros a Diesel B7 e Gasolina E10, os coeficientes de consumo médio unitário utilizados no cálculo da intensidade energética, constam no relatório do *Joint Research Center* da Comissão Europeia. [23] Já para os transportes em coletivo foram consultados os relatórios de sustentabilidade da empresa Metro do Porto [24], da empresa STCP [25] e no caso dos CP Urbanos, o coeficiente utilizado foi calculado no âmbito de uma dissertação, disponibilizada no Repositório da FEUP [26]. Ressalve-se que no caso dos autocarros foi testado o coeficiente de consumo unitário de energia fornecido pela STCP mas este, por não corresponder a um valor real foi ignorado e foram utilizados os coeficientes da Carris, que opera em Lisboa.

No caso dos Motociclos, utilizou-se, tal como nos EV e PHEV os coeficientes de consumo médio unitário dos modelos mais vendidos, no contexto nacional:

- EV: Renault ZOE (2012)
- PHEV: BMW 320e (2019)
- Motociclo: Honda PCX Gasolina e Elétrica (2020)

Assim, obtiveram-se os valores da Energia Total Consumida (MJ) e também para cada modo de transporte (MJ), o que permite fazer uma análise do impacto das medidas implementadas individualmente. Os resultados são apresentados no Capítulo 4.

$$\text{Consumo m.unitário (MJ / km)} \times \text{Distância anual (km/ano)} = \text{Consumo energético anual (MJ)} \quad [3.3]$$

As informações disponíveis sobre a mobilidade na AMP não detalham qual foi a energia consumida, respetivamente a cada combustível, para a mesma categoria de veículos. Por isso foi considerado que a distância foi percorrida uniformemente, com a percentagem da distância anual (km) a corresponder à sua percentagem do parque/frota, que no caso da categoria mais expressiva, os automóveis, foi recolhida nos dados da Associação Automóvel de Portugal (ACAP) [28], imprensa da especialidade, com fontes verificadas e no já referido relatório da STCP.

Foram ainda consultados relatórios emitidos anualmente pelas maiores empresas de transportes públicos da AMP: a Metro do Porto, STCP e CP, onde consta informação relevante para o presente caso de estudo, tal como os valores de: energia consumida/passageiro.km, número de passageiros, distância percorrida, energia total consumida por tipo de combustível. No entanto, deu-se prioridade aos dados apresentados pelo INE pela sua abrangência a todos os modos de transporte. No caso do Metro, como apenas existe uma operadora utilizou-se diretamente o valor de energia (elétrica) consumida fornecida pela empresa. Já relativamente ao comboio, foram utilizados valores, devidamente fundamentados, que resultaram de uma investigação realizada na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) [27], que incidiu com especificidade nos Comboios Urbanos do Porto. Relativamente à frota de autocarros, foi considerada uma frota com a composição igual à da STCP, abrangendo toda a AMP.

Com estes dados, obtidos pelos métodos descritos, foi possível calcular também as emissões de GEE, com a seguinte equação:

$$\sum \% \text{Parque por tipo de combustível} \times \text{Fator de combustão} (gCO_{2eq./MJ}) = \text{Emissões GEE} (gCO_{2eq./MJ}) \quad [3.4]$$

Assim, com os valores relativos ao Consumo Energético Total (MJ) dos diferentes modos de transporte e com as respetivas emissões de GEE (tonCO_{2eq.}), calcularam-se os respetivos índices SMP 2.0, do Cenário de Referência, com recurso às seguintes equações:

Indicador de Eficiência Energética (MJ/p.km)

$$\sum \left(\frac{\text{Consumo energético de cada modo (MJ)}}{\text{Distância total percorrida anualmente (p.km)}} \right) = \text{Indicador Eficiência Energética (MJ/p.km)} \quad [3.4]$$

Indicador de Gases de Efeito de Estufa (tonCO_{2eq}/cap.)

$$\sum \left(\frac{\text{Emissões de cada modo (tonCO}_{2eq.})}{\text{População da AMP (hab.)}} \right) = \text{Indicador de emissões de GEE (tonCO}_{2eq./cap.)} \quad [3.5]$$

3.2 Cenários Projetados

Seguidamente, apresentam-se os métodos utilizados para os diferentes cenários projetados. Foram realizadas as projeções de 3 cenários possíveis até 2050, em que o parque automóvel e a frota de autocarros manteve a sua dimensão, mas foi progressivamente substituída por VE:

- Cenário 1 – Substituição do parque automóvel e das frotas de autocarros de ICEV por BEV
- Cenário 2 – Substituição das frotas de ICEV por EV e, no caso dos automóveis, também PHEV
- Cenário 3 – Substituição dos ICEV do parque automóvel por BEV

Admitiu-se, que nos 3 cenários, o parque automóvel iria manter a mesma dimensão, que se registou no ano de 2020, em Portugal, em que a taxa de motorização atingiu o seu máximo histórico – 557 para cada 1000 habitantes; correspondendo a um total de 5.565.963 viaturas matriculadas. Em todos eles, para o parque automóvel foram as vendas, entre o ano de 2010 e 2020, que forneceram as informações que serviram de base para realizar as trajetórias. No entanto apesar de um valor médio ser mais abrangente, após testado, revelou-se inconcebível por ser muito alto para uma realidade imediata, com a frota de EV a duplicar anualmente. Assim, achou-se razoável utilizar uma taxa média de vendas dos anos 2019 e 2020, +76,1%. Assim, como se pode analisar na respetiva tabela, disponibilizada nos anexos, em 2050, 85% do parque automóvel seria constituído por elétricos.

Refira-se que apesar de existirem diferentes fatores que podem influenciar os indicadores, tal como uma maior penetração de VRES no sistema electroprodutor, oscilações na taxa de motorização e da população, etc. os consumos energéticos unitários dos diferentes modos de transporte (MJ/km) assim, como os fatores de emissão associados (tonCO_{2eq}/MJ) não sofreram alterações até 2050.

No cenário 2 foram também integrados no parque automóvel, os PHEV, que de forma idêntica aos EV foram substituindo a frota existente de veículos de combustão interna (ICEV, do inglês *Internal Combustion Engine Vehicle*), a uma taxa próxima das vendas do ano de 2020. Com esta taxa foi projetado que em 2050, os veículos BEV+PHEV (do inglês, *plug-in electric vehicle*), chegariam a 92,5% do parque automóvel. A respetiva tabela pode ser, também, consultada em anexo. O abate de veículos registado será um dado de menor importância para estabelecer estas trajetórias, pois foi considerado que a taxa de motorização se manteve, logo os veículos abatidos (maioritariamente ICEV) serão iguais às vendas (maioritariamente EV e PHEV até 2035 e a partir daí estes dois em exclusivo).

Nos primeiros 2 cenários, foi também prevista a eletrificação de todos os outros modos de transportes rodoviários. No caso dos autocarros, foi com base na frota da empresa STCP, que tem a

maior expressão na AMP, que se fizeram as projeções até 2050. Em 2021, existiam em operação uma frota de 434 autocarros e presentemente, encontra-se em andamento a progressiva substituição da frota de veículos a diesel, por veículos menos poluentes: a gás natural e a partir de 2018, também, a baterias elétricas. Para calcular as trajetórias dos autocarros foram feitas algumas estimativas baseadas na evolução do período 2017 e 2021 e outras, que não havendo dados disponíveis, acrescentaram coerência e no sentido de alcançar os objetivos de neutralidade carbónica e redução da pegada ecológica dos veículos pesados de passageiros, como a supressão dos restantes 20 veículos a diesel projetados para 2035. Segundo o Relatório de Sustentabilidade da STCP, em 2017, 35% da distância foi percorrida pelos veículos a diesel e os restantes 65% com veículos a gás natural. A estas percentagens, mas também à emergente frota de autocarros elétricos foram aplicados os diferentes valores de intensidade energética (1,51 MJ/km; 2,11 MJ/km e 0,53 MJ/km), que como foi referido não se encontravam no relatório oficial da STCP, de 2020.

Relativamente aos outros modos de transporte, táxis, motociclos e autocarros privados assumiu-se que toda a frota inicial seria a diesel e que seria substituída por motores elétricos à mesma taxa dos ICEV, no parque automóvel.

No cenário 3, considerou-se apenas a eletrificação do parque automóvel ligeiro de passageiros com os mesmos valores do cenário 1.

Para todos os cenários foram recalculados os indicadores, com recurso às equações 3.4 e 3.5, estabelecendo-se, também, uma trajetória gráfica que permite observar quais as consequências das mudanças implementadas e se elas vão de encontro às metas assumidas no PNEC e outros protocolos.

4 Resultados e Discussão

Seguidamente, apresentam-se os resultados obtidos sobre a evolução dos indicadores que permitem obter a avaliação necessária para verificar o que representaria a eletrificação dos transportes nos esforços de redução da intensidade energética e da descarbonização do sistema de mobilidade da AMP.

4.1 Cenário de Referência

No cenário de referência foram calculados os indicadores referidos a partir dos dados do INE, acerca das viagens efetuadas e distâncias percorridas nos movimentos pendulares diários indicados na tabela seguinte, dos habitantes da AMP, em 2017.

Tabela 2- Consumo energético e Emissões de GEE, em 2017

Modo de transporte	Consumo Energético (MJ)	Combustível	Fatores de emissão (gCO ₂ eq/MJ)	Emissões de GEE (tCO ₂ eq.)
Automóvel	14 798 351 244,54	Diesel/Gasolina Eletricidade	92,1/90,3	1 346 743,93
Motociclo	82 633 487,44	Gasolina	90,3	7 461,80
Taxi	31 429 636,36	Diesel	92,1	2 894,67
Autocarro público	1 596 227 981,24	Diesel/LPG	92,1/73,5	148 177,84
Autocarro - transp. Emp./esc.	623 172 077,40	Diesel	92,1	57 394,15
Comboio	387 956 943,93	Eletricidade	110	426 696,26
Metro	167 670 000,00	Eletricidade	110	12 430,43
Total	17 687 441 370,91			2 001 799,08

Tabela 3 – Indicadores SMP 2.0– Cenário de Referência, em 2017

Indicador SMP 2.0 - Eficiência Energética		Indicador SMP 2.0 - Gases de Efeito de Estufa	
MJ/passageiro.km	1,51	tonCO₂eq./cap.	1,25

Seguidamente, apresentam-se as informações mais relevantes que permitiram alcançar estes resultados, como a composição do parque automóvel e da frota de autocarros públicos, por tipo de combustível, assim como os dados e informações complementares que permitiram a fixação das trajetórias para os diferentes cenários, como as vendas de veículos ligeiros de EV e PHEV e a substituição da frota de autocarros da STCP entre 2017 e 2021.

4.1.1 Ligeiros de Passageiros

Na seguinte tabela podemos encontrar a constituição do parque automóvel, por combustível, entre os anos de 2010 e 2020.

Tabela 4 :Parque automóvel e vendas no período 2010-2020

Ano	Gasolina		Diesel		GPL		Híbridos não plug-in		Outros	
	Vendas	Parque	Vendas	Parque	Vendas	Parque	Vendas	Parque	Vendas	Parque
2010	72 018	2568873	148 947	2076511	932	38 117	1 419	5 788	124	-
2011	44 544	2496585	106 832	2168710	839	37 381	932	6 797	124	-
2012	26 235	2160440	67 237	2050615	776	37 190	926	10 043	120	-
2013	27 188	2156435	76 573	2125856	867	40 630	1 052	10 772	118	20
2014	37 793	2272319	101 944	2366121	868	46 955	1 929	13 233	141	2
2015	53 205	2184146	120 521	2471985	633	48 062	2 975	16 527	173	6
2016	67 454	2156073	133 800	2619720	1 020	49 301	3 204	20 830	135	7
2017	76 364	2168924	135 235	2800640	1 749	52 315	4 692	28 175	157	7
2018	89 811	2217506	121 591	2952260	1 823	56 213	7 230	36 960	352	23
2019	110 125	2264850	89 417	3044926	2 111	57 432	9 424	48 787	459	41
2020	64 232	2241224 40,27%	47 741	3146222 56,53%	1 815	58 717 56,53%	11 902	61 308 56,53%	553	30 0,01%

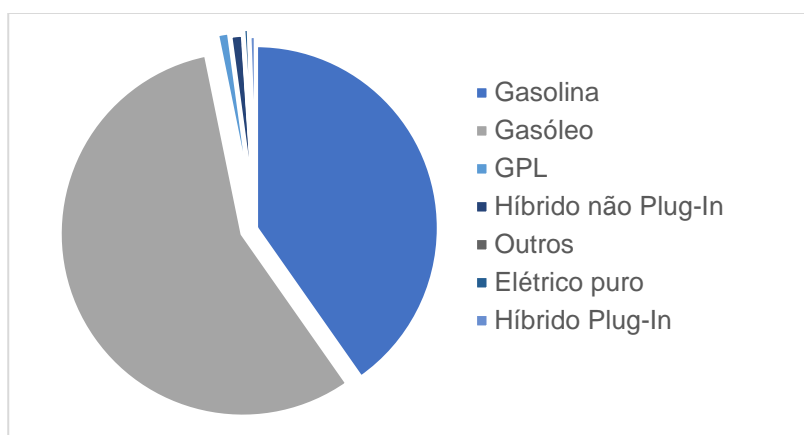


Figura 1 - Composição do parque automóvel em 2020

Como podemos observar, até 2020 não existia uma percentagem significativa de veículos não-ICEV, no parque automóvel em Portugal. Assim, com base nos dados disponíveis, apresentados na tabela seguinte, criaram-se diferentes trajetórias a partir da evolução que se registou entre 2010 e 2020, para a futura progressiva substituição da frota não-ICEV.

Indicadores de Mobilidade Urbana Sustentável na Área Metropolitana do Porto

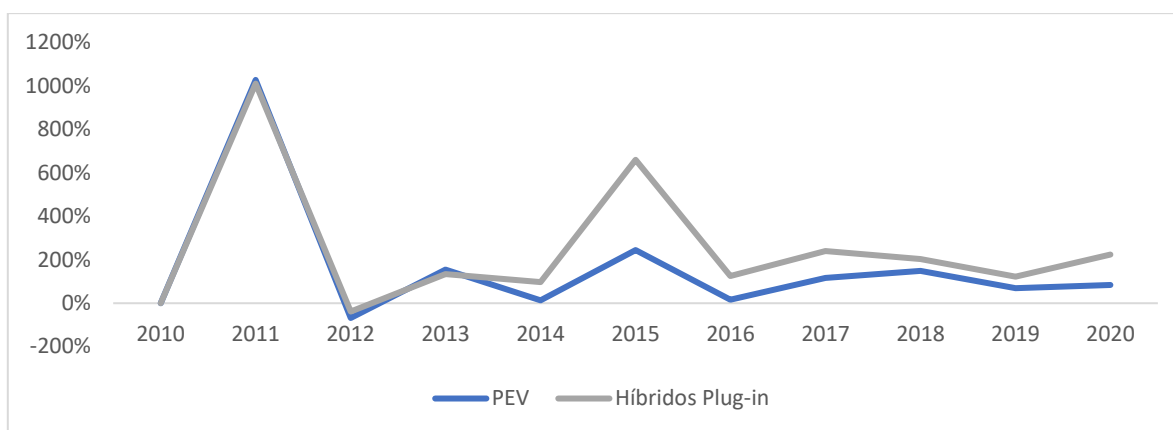


Figura 3 – Evolução das vendas de BEV e PHEV entre 2010 e 2020

A taxa de vendas registada neste período foi de cerca de 100%, que significa que a frota dobraria todos os anos. As projeções sobre a evolução da eletrificação do parque automóvel irão ser apresentadas nos cenários seguintes.

4.1.2 Autocarros públicos

Devido à inexistência de uma base de dados sobre a totalidade de veículos pesados de passageiros a operar nos 17 concelhos da AMP, foram utilizadas as informações disponibilizadas no relatório da empresa STCP, que tem a maior frota. Assim, apresentam-se, na figura seguinte, as percentagens de veículos de cada tipo de combustível, no total dos 434 autocarros da frota da STCP.

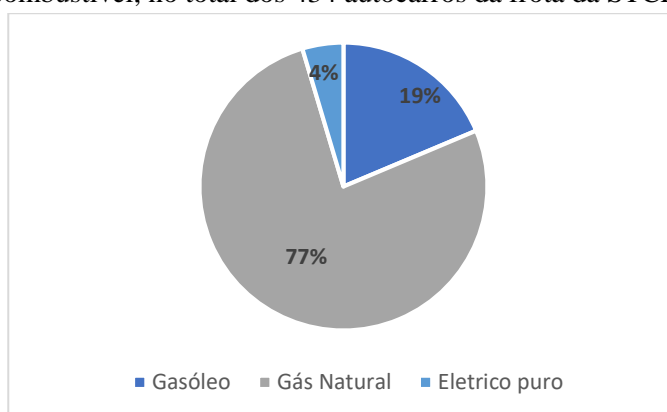


Figura 4 – Frota de Autocarros da STCP, em 2021

Para estabelecer as trajetórias futuras, foram utilizados os valores da evolução da frota de autocarros da STCP, apresentados na tabela seguinte:

Tabela 5 – Evolução da frota de Autocarros da STCP, entre 2017 e 2021

%Parque	Gasóleo		Gás Natural			Elétrico puro			
	N	% Evolução	% Parque	N	% Evolução	% Parque	N	Evolução	% Parque
2017	160	0,00%	38,37%	257	0,00%	61,63%	0	0,00%	0,00%
2018	159	0,63%	37,86%	249	-3,21%	59,29%	12	100,00%	2,86%
2019	142	11,97%	33,41%	268	7,09%	63,06%	15	20,00%	3,53%
2020	86	65,12%	20,24%	324	17,28%	76,24%	15	0,00%	3,53%
2021	81	6,17%	18,66%	333	2,70%	76,73%	20	25,00%	4,61%

4.2 Cenário 1

O primeiro cenário refere-se à progressiva substituição do parque automóvel e frota de autocarros em circulação por veículos elétricos puros. Os seguintes subcapítulos justificam as opções tomadas, na eletrificação dos veículos em circulação. Apenas os comboios urbanos e o metro, não foram alvos de uma intervenção, neste cenário. Devido à importância do transporte ligeiro de passageiros e dos autocarros públicos, apresentam-se também as informações obtidas na evolução dos índices e das projeções efetuadas.

4.2.1 Ligeiros de passageiros

Como já foi referido, também no primeiro cenário, foi aplicada a atual taxa de motorização nacional ao contexto da AMP, mantendo também para todos os anos projetados a distância percorrida pela população (também inalterada), para todos os modos de transporte.

Assim, foram-se substituindo os veículos ICE pelos veículos elétricos puros, à taxa média de vendas de EV registadas de 2019 e 2020, que como foi referido anteriormente se encontra mais próximo de um possível cenário futuro. Com este valor, verificou-se que em 2050, 85% do parque era constituído por Veículos Elétricos Puros ou, numa percentagem desprezável Veículos Híbridos Plug-in, sendo esta considerada no cenário seguinte. A tabela seguinte representa a composição do parque automóvel projetada, até 2050:

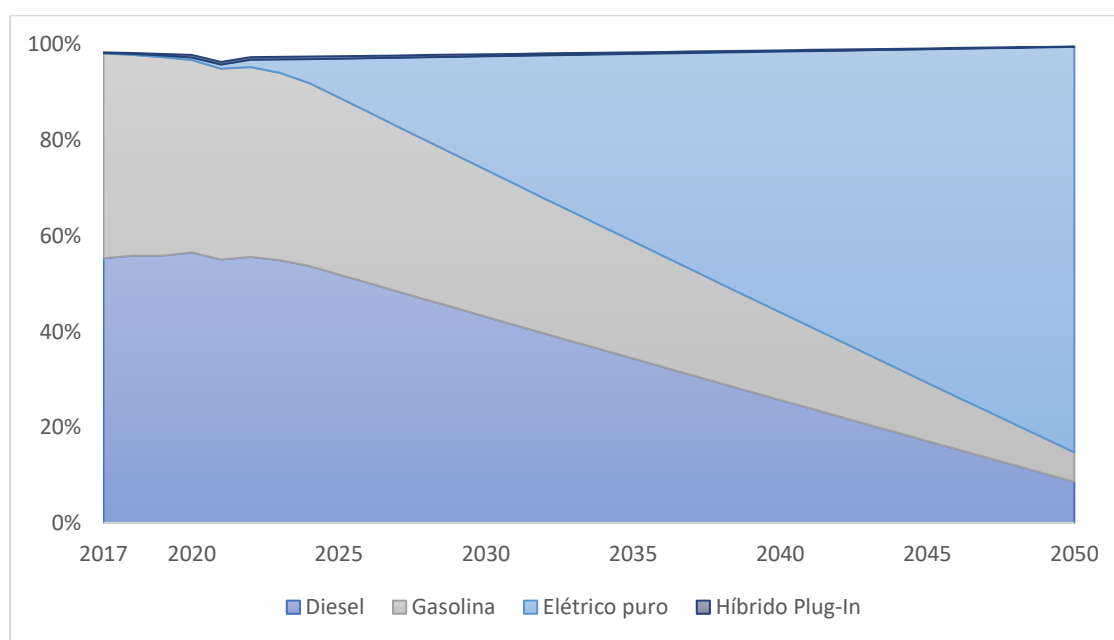


Figura 5- Projeção da evolução do Parque Automóvel entre 2017 e 2050 – Cenário 1

A partir desta projeção, calculou-se, para cada ano, a evolução dos novos valores de MJ/p.km e tonCO₂eq./per capita, do parque automóvel e os resultados foram os seguintes:

Indicadores de Mobilidade Urbana Sustentável na Área Metropolitana do Porto

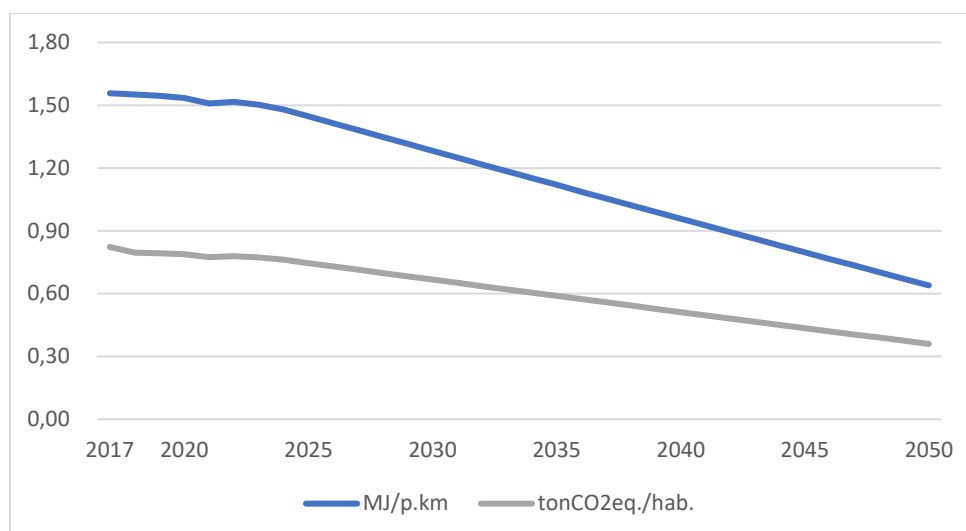


Figura 6- Cenário 1 - Indicadores para Ligeiros de Passageiros 2017 -2050

Podemos observar que com a substituição de 85% do parque por veículos elétricos puros, existiu uma redução de 59% do índice de intensidade energética de 1,54 para 0,64 MJ/p.km, um valor na linha do esperado, pois os veículos elétricos são mais eficientes, consumindo cerca de um terço da energia dos veículos ICE.

4.2.2 Autocarros públicos

Neste cenário, foi também considerada a substituição progressiva da frota de autocarros públicos a diesel e gás natural por veículos elétricos puros. A evolução da frota no período entre 2017-2020 ditou a taxa anual de substituição dos veículos a diesel -9,07%, que se extinguiu em 2035. Esta frota tem vindo a ser substituída por veículos a GPL, que foram também estes, sendo progressivamente substituídos por uma frota de elétricos, até 2050. A figura seguinte representa, a trajetória da evolução da frota de autocarros, até 2050:

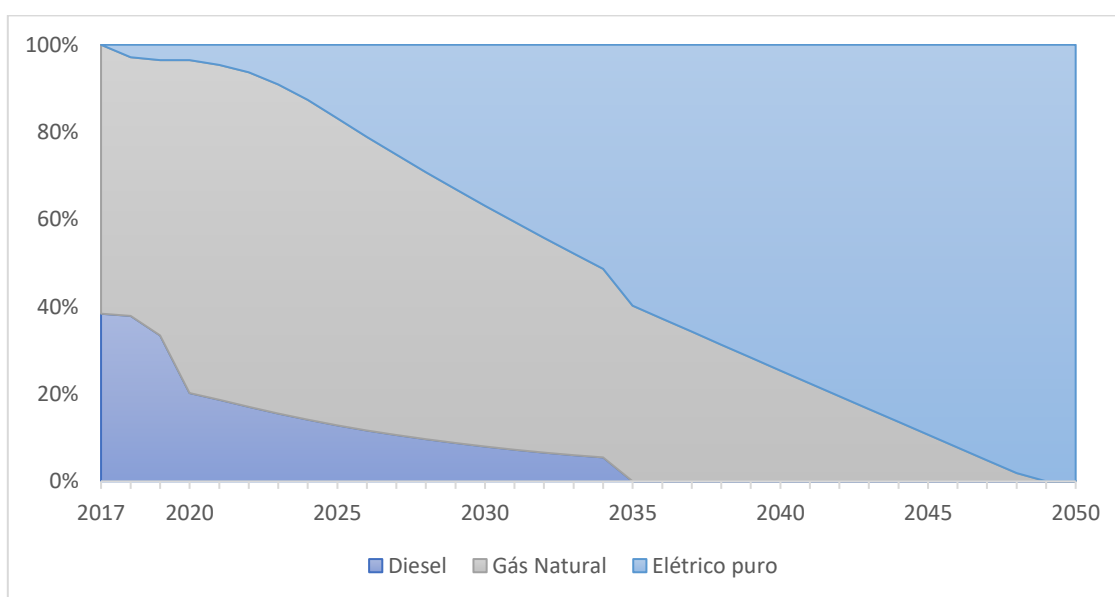


Figura 7- Projeção da Frota de Autocarros, entre 2017 e 2050

Da mesma forma, que nos veículos ligeiros registou-se uma redução muito significativa na intensidade energética da frota de autocarros, que reduziu cerca de $\frac{1}{4}$ a energia consumida para a mesma distância percorrida.

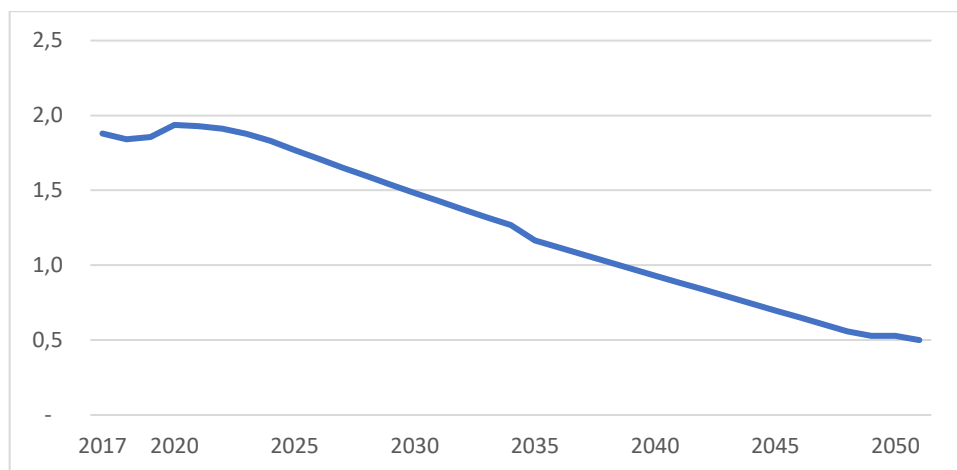


Figura 8- Cenário 1 - Intensidade energética da frota de autocarros, entre 2017 e 2050

4.2.3 Autocarros privados

Para os autocarros privados foram consideradas as mesmas taxas de evolução anual na transição de veículos ICE para EV dos autocarros públicos. Com a diferença que no cálculo de emissões se considerou que a frota inicial seria uma frota integralmente a diesel que foi progressivamente substituída pelos veículos elétricos puros.

4.2.4 Taxi

Relativamente aos Taxis, considerou-se que da mesma forma a frota de ICEV, integralmente a diesel, foi substituída por uma frota de EV, à mesma taxa do que a transição dos veículos ligeiros de passageiros.

4.2.5 Motociclos

Igual ao anterior.

4.2.6 Indicadores

Depois de realizadas todas as modificações procedeu-se, de novo, ao cálculo dos indicadores, com resultados satisfatórios. Em 2030, o indicador das emissões de GEE tinha reduzido -17,5% e em 2050, -57,8%.

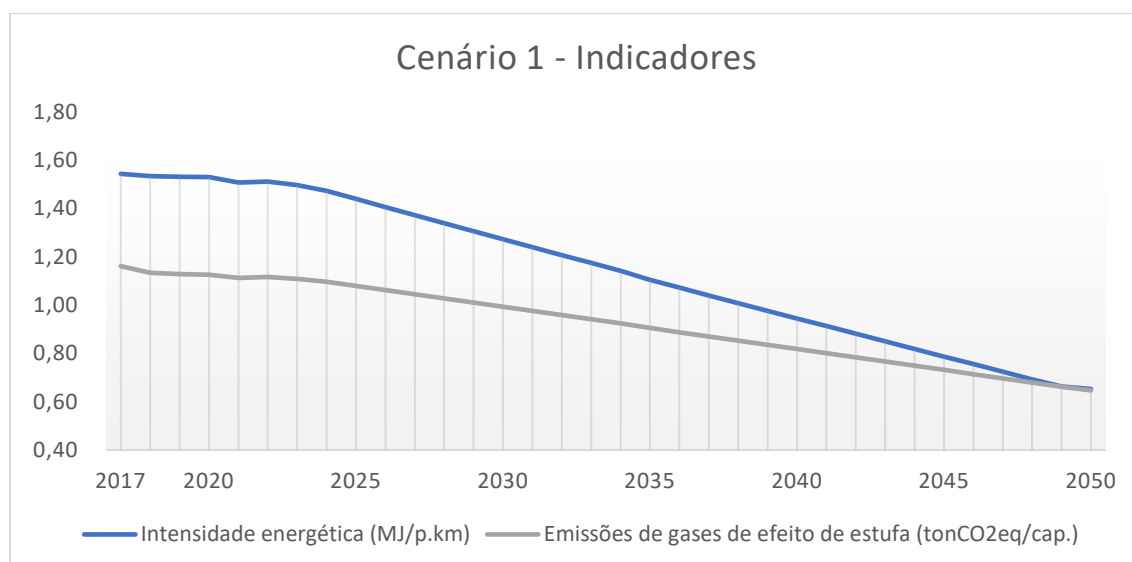


Figura 9- Cenário 1 – Evolução dos Indicadores, de 2017 a 2050

4.3 Cenário 2

O Cenário 2 é idêntico ao Cenário 1, com exceção do parque automóvel onde foram integrados veículos Híbridos Plug-In. O seu crescimento acompanhou o dos EV, na substituição dos ICEV, até em 2050 apenas representarem 7% do parque. A taxa de evolução da frota de PHEV adotada foi da mesma forma estimada com as informações disponíveis, entre 2010 e 2020.

4.3.1 Ligeiros de Passageiros

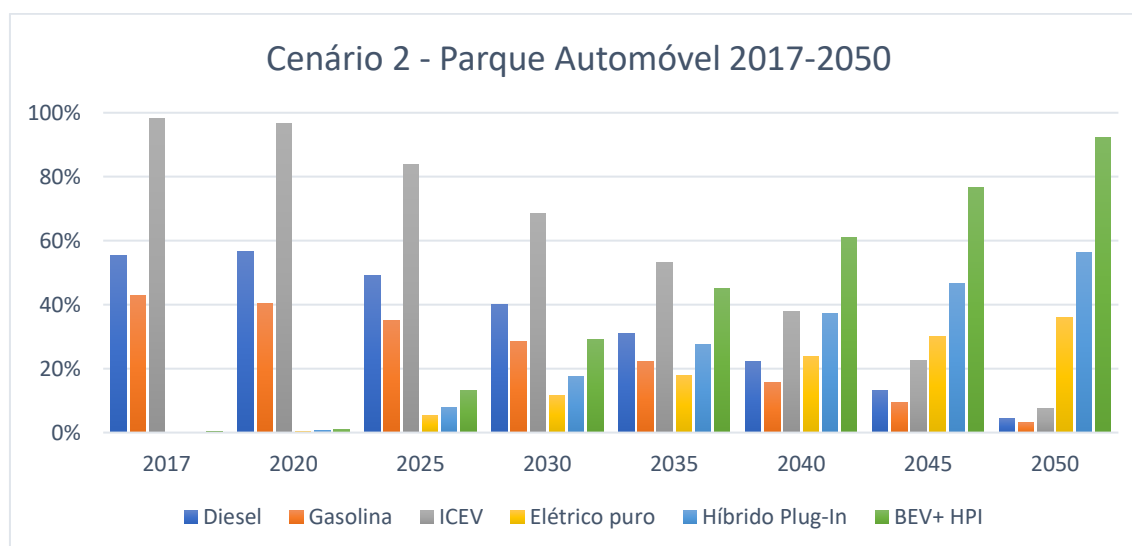


Figura 10- Projeção da evolução do Parque Automóvel entre 2017 e 2050 – Cenário 2

4.3.2 Indicadores

Os indicadores foram recalculados para o cenário 2, com a parcela dos automóveis a ser a única a alterar-se. As mudanças efetuadas, levaram os indicadores analisados, de intensidade energética e de emissão de gases de efeito de estufa, desceram até 0,74 e 0,88, respetivamente.

Indicadores de Mobilidade Urbana Sustentável na Área Metropolitana do Porto

Pese embora, neste cenário a eletrificação do parque automóvel ter sido mais profunda (92,3%, em 2050), do que no Cenário 1, os indicadores não foram tão baixos, pois os PHEV têm um maior coeficiente de consumo energético unitário e de emissões de GEE, do que os veículos elétricos puros. No entanto, representa uma boa melhoria nestes parâmetros relativamente aos veículos ICE.

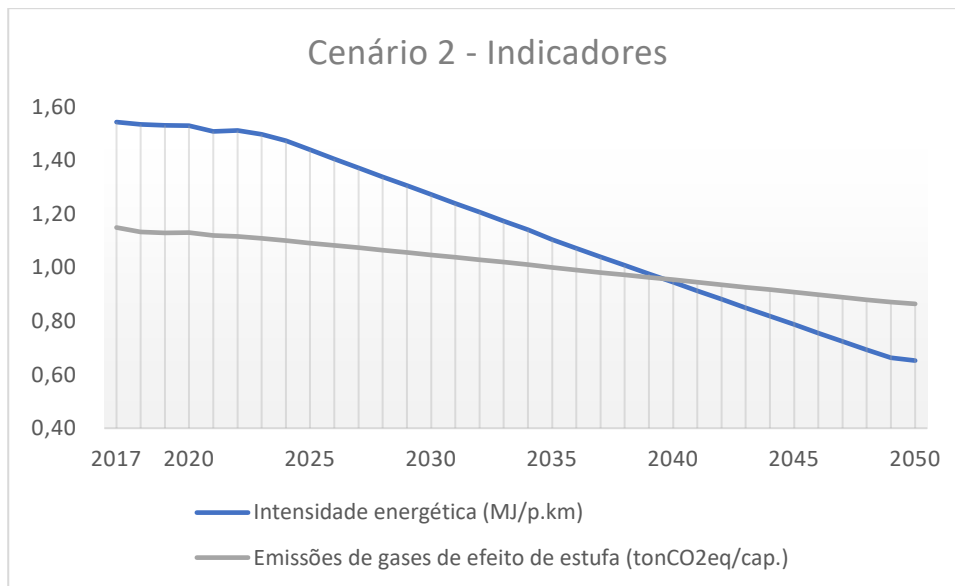


Figura 11 - Cenário 2 – Evolução dos Indicadores, de 2017 a 2050

4.4 Cenário 3

O Cenário 3 representa a eletrificação apenas do parque automóvel, com a mesma taxa de evolução encontrada para o Cenário 1. O consumo energético e as emissões de GEE dos restantes modos de transporte são as do cenário de referência.

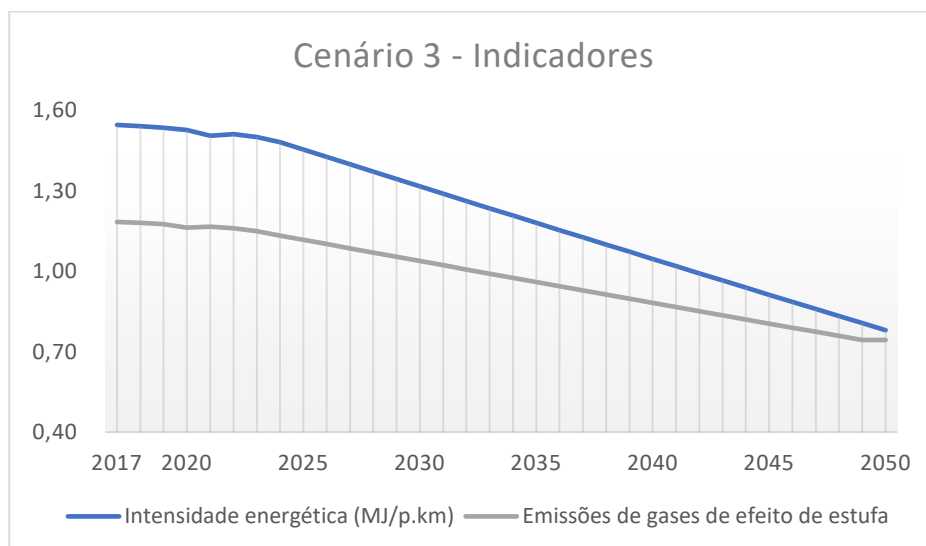


Figura 12 - Cenário 3 – Evolução dos Indicadores, de 2017 a 2050

5 Conclusões e Sugestões Futuras

Nesta dissertação foram calculados os Indicadores de Mobilidade Sustentável SMP 2.0, desenvolvidos pelo WBSC, que visam avaliar quais vão ser os impactos das políticas de descarbonização dos transportes que passam pela eletrificação do sector dos transportes, na AMP, relativamente à Eficiência Energética e Emissões de Gases de Efeito de Estufa. De facto, os indicadores calculados permitiram identificar que existe de facto uma redução na pegada carbónica e da eficiência energética com a substituição dos veículos com motores de combustão interna pelos veículos elétricos e híbridos plug-in.

A análise do Cenário 1, onde se observaram as reduções mais significativas, permitem observar que com a trajetória de crescimento da frota de EV considerada, em 2030, a frota de EV chegará aos 25% do parque, o que se vai traduzir numa redução de emissões significativa (17,5%). E, ainda, relativamente à frota de autocarros, seria constituída por 40% de EV e 55% a GNL. Podemos afirmar, que será de prever que a partir de metade dessa década, o crescimento das vendas de EV, seja mais acentuado devido à proibição de venda de ICEV, na EU, por isso, podemos estar otimistas na implementação desta tecnologia de baixo-carbono. Os objetivos assumidos do município do Porto, passam também pela redução do parque automóvel e melhoramento de infraestruturas para facilitar o acesso dos cidadãos a outros modos de transporte, coletivos ou suaves, nas suas deslocações diárias. A AMP, prevê no seu Plano de Mobilidade Urbana, um forte investimento, nos próximos anos, na construção de infraestruturas que promovem a mobilidade ativa, como vias pedonais e ciclovias; na implementação de medidas que conduzem ao aumento da utilização dos transportes coletivos, como a redução do preço dos passes, construção de corredores BUS, linhas de metro e estabelecimento das zonas de emissões reduzidas e a crescente sensibilização da população para os alertas ambientais podem ter um reflexo muito positivo nos indicadores estudados, assim com na qualidade de vida nos centros urbanos. Podemos referir, que a aposta em substituir toda a frota de veículos individuais com motores de combustão interna por veículos elétricos tem uma influência imediata nas emissões com gases de efeito de estufa, no consumo energético, ruído e qualidade do ar das cidades, entre outros, no entanto, existem outros problemas que devem, também, ser resolvidos, com a complementaridade de modos de transporte, como: o tráfego, a falta de espaço urbano ocupado por estacionamento e vias rodoviárias, e a falta de acessibilidade a todas as classes sociais e escalões etários. Também pode ser considerado, que os menores consumos possam ter um *rebound effect*, na medida em que a circulação terá menores custos associados. Seria interessante realizar um estudo mais exaustivo para procurar saber qual seria o seu impacto nas projeções dos indicadores.

Outro aspeto que merece destaque é que as informações globais mais recentes sobre a mobilidade da AM Porto datam de 2017, no entanto, em dezembro de 2022, estarão disponíveis os dados mais atuais, dos Censos 2022, onde foram prospetados os movimentos pendulares de todas as famílias portuguesas, o que permite a realizar um estudo exaustivo sobre a implementação de medidas nos Planos de Mobilidade. Uma boa possibilidade, seria estender estes cálculos às várias regiões do país e ao mesmo tempo identificar as necessidades relativas às características singulares de cada centro urbano fazendo, por exemplo, corresponder um determinado valor de emissões a cada centro urbano, por população e proximidade de serviços básicos, para acrescentar uma maior objetividade aos planos de mobilidade urbana e, de alguma forma, fornecer as ferramentas necessárias para avaliar de forma quantitativa, com os indicadores, as políticas de mobilidade implementadas, por cada região ou município.

Uma pesquisa interessante seria associar novos fatores de combustão para calcular as emissões dos EV com a evolução da incorporação de VRES no sistema electroprodutor. Um aspeto muito positivo da eletrificação seria abrir caminho para uma transição de maior escala, devido ao fornecimento de capacidade de armazenamento e ao mesmo tempo substituir o consumo de combustíveis fósseis,

poluentes, e muitas vezes provenientes de regiões instáveis, pelo consumo de energias endógenas reforçando a soberania energética do país. No entanto, a eletrificação do parque automóvel requer um esforço financeiro muito grande para os cidadãos portugueses e as taxas de venda e motorização são afetadas pela situação económica do país logo convém salvaguardar com uma taxa de incerteza, relativamente à sua relação com o poder de compra. A substituição dos veículos mais poluentes irá depender de todo um conjunto de fatores, num contexto geopolítico mundial algo instável. Por isso, é importante afirmar os compromissos climáticos assumidos, independentemente da volatilidade da vontade política, pela defesa das condições de vida das gerações futuras e da biodiversidade, estes desafios devem ser encarados com seriedade e compromisso absoluto para com eles e para com as populações mais vulneráveis às Alterações Climáticas. O PNEC, refere que Portugal, se compromete a reduzir até 2030, 40% das emissões dos transportes registadas em 2005, pelo que existe uma forte possibilidade da AMP, se considerada isoladamente, conseguir estar perto desta meta. No entanto, os dados disponíveis, sobre a composição do parque automóvel, frota de autocarros e restantes modos de transporte não permitem afirma-lo com uma certeza absoluta.

6 Referências

- [1] Morfeldt J. *et al.*. Carbon footprint impacts of banning cars with internal combustion engines Transportation Research Part D, **2021**, 95, 102807
- [2] UVE. 10 Razões para mudar <https://www.uve.pt/page/10-razoas-para-mudar/> (acesso dia 30/09/22)
- [3] Vitta S. *et al.*. Electric Cars - Assessment of 'green' nature vis-à-vis conventional fuel driven cars, Sustainable Materials and Technologies, **2021**, e00339,30
- [4] International Energy Agency. Global EV Outlook 2020 - Entering the decade of electric drive?, OECD/IEA, Paris, France
- [5] Hilton G, et al. The case for energy storage installations at high rate EV chargers to enable solar energy, integration in the UK – An optimised approach, Journal of Energy Storage, **2019**, 435-444,21
- [6] Tong S., Same A et al. Off-grid photovoltaic vehicle charge using second life lithium batteries: An experimental and numerical investigation, Applied Energy, **2013**, 740-750, 104
- [7] Baker, T. et al. Boston Consulting Group – Distributed Energy: A Disruptive Force, **2014**, Washington
- [8] Alanne, K. e Saari, A. Distributed energy generation and sustainable development. Helsinki: Renewable & Sustainable Energy Reviews, **2006** 10, 539-558
- [9] BCSO. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) BCSO Portugal, <https://www.ods.pt/> (acesso 30/9/22)
- [10] APA. Relatório Estado do Ambiente 2020-2021, 2022
- [11] Costa P., Neto G. et al. Urban Mobility indexes: A Brief Review of the Literature, Transportation Research Procedia 2017; 3645-3655
- [12] UVE. Balanço das vendas de Veículos Elétricos 2021 <https://www.uve.pt/page/blueauto-01-2021-balanco-vendas-veiculos-eletricos-2020/> (acesso 31/9/22)
- [13] Silveiras M.. Portugal é o segundo país com maior rede autoestradas, ECO, 2021 <https://eco.sapo.pt/2021/08/12/portugal-e-o-segundo-pais-europeu-com-maior-rede-de-autoestradas-por-habitante/>
- [14] INE, I. P. Censos 2021 – Resultados provisórios (acesso 31/9/22) https://www.ine.pt/scripts/db_censos_2021.html
- [15] INE, I. P. Projeção da População 2018-2080, 2020
- [16] Comissão Europeia. Green Deal presentation (acesso a 30/9/22) https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- [17] Comissão Europeia. The New EU Framework for urban mobility **2021**
- [18] Mobilidadept.com. *Plano de Ação de Mobilidade Urbana Sustentável da AMP*. 2016
- [19] IMTT. Diretrizes Nacionais para a Mobilidade 2012
- [20] WBCSD. Mobility 2030: Meeting the Challenges to Sustainability The Sustainable Mobility Project. **2004**.
- [21] Arthur D. Little Future Lab. Future of Mobility 3.0 2018
- [22] INE, I. P.. *Mobilidade e funcionalidade do território nas Áreas Metropolitanas do Porto e de Lisboa 2017*.
- [23] JRC Comissão Europeia. Well-to-Tank report version 4.a, 2014, Luxemburg
- [24] Metro do Porto. Relatório de Sustentabilidade, 2018.
- [25] STCP. Relatório e Contas, 2019.
- [26] Infraestruturas de Portugal, I. P.. Relatório de Sustentabilidade da CP 2019
- [27] Paulo Nascimento. Avaliação da Sustentabilidade Ambiental do Transporte Ferroviário: Cálculo da Pegada de Carbono Mestrado, FEUP, Porto, 2020

Anexos

Projeção da composição do parque automóvel de 2017 até 2050, utilizada no cálculo dos indicadores dos cenários 1 e 3

%Parque	Diesel	Gasolina	ICEV	Elétrico puro	Híbrido Plug-In	BEV+ HPI	MJ	tonCO2eq.
2017	55,30%	42,87%	98%	0,092%	0,09%	0,18%	15 217 976 803,0	1 429 503,74
2018	55,88%	41,97%	98%	0,19%	0,18%	0,37%	15 157 490 011,6	1 383 230,35
2019	55,85%	41,54%	97%	0,33%	0,32%	0,65%	15 096 932 741,2	1 377 950,03
2020	56,53%	40,27%	97%	0,48%	0,56%	1,04%	15 000 003 133,0	1 369 639,81
2021	55,03%	39,91%	95%	0,88%	0,55%	1,43%	14 744 632 601,3	1 346 468,71
2022	55,63%	39,63%	95%	1,58%	0,55%	2,13%	14 813 580 422,1	1 353 328,90
2023	54,93%	39,13%	94%	2,82%	0,54%	3,36%	14 686 131 782,6	1 342 489,16
2024	53,70%	38,26%	92%	4,99%	0,53%	5,52%	14 462 076 980,1	1 323 435,58
2025	51,93%	36,99%	89%	8,13%	0,51%	8,64%	14 139 451 000,1	1 296 004,60
2026	50,16%	35,73%	86%	11,26%	0,49%	11,76%	13 816 953 015,5	1 268 581,35
2027	48,39%	34,47%	83%	14,39%	0,48%	14,87%	13 494 582 798,3	1 241 165,81
2028	46,63%	33,22%	80%	17,51%	0,46%	17,97%	13 173 756 869,9	1 213 888,44
2029	44,87%	31,96%	77%	20,62%	0,44%	21,07%	12 853 058 254,2	1 186 618,76
2030	43,11%	30,71%	74%	23,73%	0,42%	24,16%	12 532 486 724,4	1 159 356,74
2031	41,36%	29,46%	71%	26,84%	0,41%	27,25%	12 213 458 803,1	1 132 232,86
2032	39,60%	28,21%	68%	29,94%	0,39%	30,33%	11 893 140 766,4	1 104 986,13
2033	37,85%	26,97%	65%	33,03%	0,37%	33,40%	11 575 065 490,0	1 077 941,95
2034	36,11%	25,72%	62%	36,12%	0,36%	36,47%	11 257 071 062,5	1 050 901,21
2035	34,37%	24,48%	59%	39,20%	0,34%	39,54%	10 939 643 028,2	1 023 908,63
2036	32,63%	23,24%	56%	42,28%	0,32%	42,60%	10 622 780 378,5	996 964,12
2037	30,89%	22,01%	53%	45,35%	0,30%	45,65%	10 306 482 106,1	970 067,61
2038	29,16%	20,77%	50%	48,41%	0,29%	48,70%	9 990 747 205,9	943 219,01
2039	27,43%	19,54%	47%	51,48%	0,27%	51,75%	9 675 574 674,5	916 418,23
2040	25,70%	18,31%	44%	54,53%	0,25%	54,78%	9 360 963 510,2	889 665,18
2041	23,98%	17,08%	41%	57,58%	0,24%	57,82%	9 046 912 713,1	862 959,78
2042	22,26%	15,86%	38%	60,62%	0,22%	60,84%	8 733 421 285,1	836 301,95
2043	20,54%	14,63%	35%	63,66%	0,20%	63,86%	8 420 488 229,8	809 691,60
2044	18,83%	13,41%	32%	66,70%	0,19%	66,88%	8 108 112 552,9	783 128,65
2045	17,11%	12,19%	29%	69,72%	0,17%	69,89%	7 796 293 261,4	756 613,01
2046	15,41%	10,97%	26%	72,75%	0,15%	72,90%	7 485 029 364,4	730 144,60
2047	13,70%	9,76%	23%	75,76%	0,13%	75,90%	7 174 319 872,7	703 723,33
2048	12,00%	8,55%	21%	78,77%	0,12%	78,89%	6 864 163 798,7	677 349,13
2049	10,30%	7,34%	18%	81,78%	0,10%	81,88%	6 554 560 156,8	651 021,90
2050	8,60%	6,13%	15%	84,78%	0,08%	84,87%	6 245 507 963,0	624 741,56

Projeção da composição da frota de autocarros de 2017 até 2050, utilizada no cálculo dos indicadores dos cenários 1 e 2

Autocarro	Diesel			Gás Natural			Elétrico puro			MJ	tonCO2eq.
	%Parque	N	% Evolução	% Parque	N	% Evolução	% Parque	N	Evolução		
2017	160	0,00%	38,4%	257	0,00%	61,63%	0	0,00%	0,00%	1596227981	128902
2018	159	-0,63%	37,9%	249	-3,21%	59,3%	12	100,00%	2,86%	1563046223	127643
2019	142	-11,97%	33,4%	268	7,09%	63,1%	15	20,00%	3,53%	1576697925	124734
2020	86	-65,12%	20,2%	324	17,28%	76,2%	15	0,00%	3,53%	1644519133	128285
2021	81	-6,17%	18,7%	333	2,70%	76,7%	20	25,00%	4,61%	1637908204	128073
2022	74	-9,07%	17,0%	331	-2%	76,62%	27	37%	6%	1622974598	127440
2023	67	-9,07%	15,5%	326	-3%	75,42%	39	43%	9%	1593963325	126330
2024	61	-9,07%	14,10%	317	-4%	73,32%	54	39%	13%	1553887738	124772
2025	55	-9,07%	12,82%	304	-4%	70,28%	73	34%	17%	1502376040	122678
2026	50	-9,07%	11,66%	291	-5%	67,25%	91	25%	21%	1451861306	120495
2027	46	-9,07%	10,60%	277	-5%	64,22%	109	19%	25%	1402255557	118224
2028	42	-9,07%	9,64%	264	-5%	61,20%	126	16%	29%	1353613829	115874
2029	38	-9,07%	8,76%	251	-5%	58,19%	143	13%	33%	1305728842	113442
2030	34	-9,07%	7,97%	238	-5%	55,18%	159	12%	37%	1258534660	110929
2031	31	-9,07%	7,25%	225	-6%	52,18%	175	10%	41%	1212105973	108343
2032	28	-9,07%	6,59%	212	-6%	49,17%	191	9%	44%	1166118863	105671
2033	26	-9,07%	5,99%	199	-6%	46,18%	207	8%	48%	1120859608	102932
2034	24	-9,07%	5,45%	187	-7%	43,19%	222	7%	51%	1076077593	100117
2035	0	-9,07%	0,00%	174	-7%	40,21%	258	16%	60%	990507404	94260
2036	0	-100%		161	-8%	37,23%	271	5%	63%	950396362,5	91487
2037	0	0%		148	-9%	34,26%	284	5%	66%	910356764,5	88632
2038	0	0%		135	-9%	31,29%	297	5%	69%	870388482,7	85693
2039	0	0%		122	-10%	28,33%	310	4%	72%	830491390,1	82673
2040	0	0%		110	-12%	25,37%	322	4%	75%	790665359,9	79571
2041	0	0%		97	-13%	22,42%	335	4%	78%	750910265,6	76388
2042	0	0%		84	-15%	19,47%	348	4%	81%	711225980,6	73125
2043	0	0%		71	-18%	16,53%	361	4%	83%	671612379,1	69781
2044	0	0%		59	-22%	13,60%	373	4%	86%	632069335	66357
2045	0	0%		46	-27%	10,66%	386	3%	89%	592596722,7	62854
2046	0	0%		33	-38%	7,74%	399	3%	92%	553194416,7	59272
2047	0	0%		21	-60%	4,82%	411	3%	95%	513862291,8	55611
2048	0	0%		8	-100%	1,90%	424	3%	98%	474600223	51873
2049	0	0%		0		0%	432	2%	100%	448959442,3	49386
2050	0	0%		0		0%	432	0%	100%	448959442,3	49386

Projeção da composição do parque automóvel de 2017 até 2050, utilizada no cálculo dos indicadores do cenário 2

%Parque	Diesel	Gasolina	ICEV	Elétrico puro	Híbrido Plug-In	BEV+ HPI	MJ	tonCO2eq.
2017	55,35%	42,87%	98%	0,09%	0,09%	0,18%	15 225 682 884,7	1 429 503,74
2018	55,88%	41,97%	98%	0,19%	0,18%	0,37%	15 158 648 281,3	1 421 294,10
2019	55,85%	41,54%	97%	0,33%	0,32%	0,65%	15 096 843 892,0	1 422 959,66
2020	56,53%	40,27%	97%	0,48%	0,56%	1,04%	14 999 451 081,1	1 413 100,75
2021	55,41%	39,47%	95%	0,90%	1,07%	1,97%	14 765 025 100,6	1 404 022,89
2022	54,44%	38,78%	93%	1,62%	2,07%	3,69%	14 621 684 776,2	1 407 098,15
2023	52,63%	37,49%	90%	2,87%	4,02%	6,89%	14 355 954 406,7	1 384 459,47
2024	50,82%	36,20%	87%	4,12%	5,98%	10,10%	14 090 532 669,9	1 381 769,69
2025	49,01%	34,91%	84%	5,37%	7,93%	13,30%	13 825 419 111,6	1 379 650,89
2026	47,20%	33,62%	81%	6,62%	9,88%	16,50%	13 560 613 278,7	1 377 607,49
2027	45,39%	32,34%	78%	7,86%	11,83%	19,69%	13 296 114 718,6	1 375 511,62
2028	43,59%	31,05%	75%	9,10%	13,78%	22,89%	13 031 922 979,3	1 373 306,25
2029	41,79%	29,77%	72%	10,34%	15,73%	26,07%	12 768 037 609,9	1 370 954,26
2030	39,99%	28,49%	68%	11,58%	17,68%	29,26%	12 504 458 160,0	1 368 424,21
2031	38,19%	27,20%	65%	12,82%	19,62%	32,44%	12 241 184 180,1	1 365 684,79
2032	36,39%	25,92%	62%	14,05%	21,57%	35,62%	11 978 215 221,4	1 362 701,97
2033	34,60%	24,65%	59%	15,28%	23,51%	38,79%	11 715 550 835,7	1 359 436,86
2034	32,81%	23,37%	56%	16,51%	25,45%	41,96%	11 453 190 575,6	1 355 843,70
2035	31,01%	22,09%	53%	17,74%	27,39%	45,13%	11 191 133 994,7	1 351 867,56
2036	29,23%	20,82%	50%	18,96%	29,33%	48,30%	10 929 380 647,1	1 347 441,46
2037	27,44%	19,55%	47%	20,19%	31,27%	51,46%	10 667 930 087,6	1 342 482,50
2038	25,65%	18,27%	44%	21,41%	33,21%	54,62%	10 406 781 871,8	1 336 886,66
2039	23,87%	17,00%	41%	22,62%	35,15%	57,77%	10 145 935 556,2	1 330 521,40
2040	22,09%	15,74%	38%	23,84%	37,08%	60,92%	9 885 390 697,7	1 323 214,99
2041	20,31%	14,47%	35%	25,05%	39,02%	64,07%	9 625 146 854,2	1 314 740,86
2042	18,53%	13,20%	32%	26,27%	40,95%	67,22%	9 365 203 584,4	1 304 793,61
2043	16,76%	11,94%	29%	27,48%	42,88%	70,36%	9 105 560 447,3	1 292 951,46
2044	14,98%	10,67%	26%	28,68%	44,81%	73,50%	8 846 217 003,2	1 278 614,85
2045	13,21%	9,41%	23%	29,89%	46,74%	76,63%	8 587 172 812,7	1 260 901,72
2046	11,44%	8,15%	20%	31,09%	48,67%	79,76%	8 328 427 437,2	1 238 458,76
2047	9,67%	6,89%	17%	32,29%	50,60%	82,89%	8 069 980 439,1	1 209 098,30
2048	7,90%	5,63%	14%	33,49%	52,53%	86,02%	7 811 831 381,2	1 169 037,78
2049	6,14%	4,37%	11%	34,69%	54,45%	89,14%	7 553 979 827,1	1 111 122,62
2050	4,38%	3,12%	7%	35,88%	56,37%	92,26%	7 296 425 341,3	1 019 990,73

