

MESTRADO
ECONOMIA E GESTÃO DO AMBIENTE

Transição Energética e Descarbonização: Uma Análise Comparativa entre Lisboa e Porto

João Artur Lopes da Conceição

M

2025

Transição Energética e Descarbonização: Uma Análise Comparativa entre
Lisboa e Porto

João Artur Lopes da Conceição

Dissertação
Mestrado em Economia e Gestão do Ambiente

Orientado por
Pra. Dra. Sofia Teives Henriques

2025

Agradecimentos

Em primeiro quero agradecer a todos de modo geral que me ajudaram, apoiaram, ao longo deste ano, quer através da partilha da sua experiência, quer por todo o incentivo durante todo este período.

À professora Sofia pela orientação, esclarecimento e reflexões sobre o que poderia ser feito.

À Inês por todo o amor, pela preocupação, compreensão, pelo constante apoio e motivação em todos os momentos que me ajudou a sempre procurar fazer mais.

Por fim, aos meus pais, por sempre acreditarem em mim, respeitarem o caminho que queria fazer e que foram essenciais para que tudo isto fosse possível.

Resumo

A presente dissertação de mestrado estrutura-se como uma investigação aprofundada sobre a economia e gestão do ambiente, focando-se na anatomia comparativa da transição energética nas duas maiores áreas metropolitanas de Portugal: Lisboa e Porto. O estudo testa a hipótese de que a governação local e a eficácia das políticas municipais são determinantes na trajetória de descarbonização, operando num contexto nacional partilhado.

A análise identifica que o *decoupling* (dissociação entre crescimento económico e emissões) se consolidou em momentos distintos: Lisboa iniciou um desacoplamento robusto na Fase II (2008-2015), sustentado por uma gestão regulatória da procura, enquanto o Porto, após uma dissociação inicial, evidenciou sinais de reacoplamento na última década, impulsionado pela pressão turística e escolhas infraestruturais.

Nos dois momentos fulcrais de avaliação quantitativa, as assimetrias são manifestas. No primeiro período (2002-2011), Lisboa alcançou uma redução líquida de 858,9 ktCO₂, superando o Porto, que mitigou 328,9 ktCO₂. A divergência agudizou-se no segundo período (2011-2021) em que Lisboa aprofundou a descarbonização com uma redução massiva de 801,7 ktCO₂ — alavancada por ganhos de intensidade energética (-830,8 ktCO₂) e pela reversão do setor dos transportes —, ao passo que o Porto registou um aumento líquido de emissões de 60,8 ktCO₂.

As conclusões principais apontam para a superioridade do modelo regulatório de Lisboa na gestão da mobilidade e para a existência de uma "armadilha da modernização" no Porto. Esta armadilha materializou-se na aposta da expansão da rede de gás natural no setor residencial, impulsionada por uma política energética nacional que promovia a diversificação de fontes, que não se refletiu da mesma maneira em Lisboa porque as trajetórias das cidades são diferentes, o que acabou por reverter os ganhos do fator de emissão (+30,5 ktCO₂), anulando esforços de eficiência noutras frentes.

Palavras-chave: Transição Energética; Descarbonização; Logarithmic Mean Divisia Index; Governação Urbana

Abstract

This master's thesis is structured as an in-depth investigation into environmental economics and management, focusing on the comparative anatomy of the energy transition in Portugal's two largest metropolitan areas: Lisbon and Porto. This study tests the hypothesis that local governance and the effectiveness of municipal policies are decisive factors in the decarbonization trajectory, operating within a shared national context.

The analysis identified that decoupling (the dissociation between economic growth and emissions) consolidated at different times: Lisbon began a robust decoupling in Phase II (2008-2015), sustained by regulatory demand management, while Porto, after an initial decoupling, showed signs of 'recoupling' in the last decade, driven by tourism pressure and infrastructure choices.

At the two key moments of the quantitative assessment, the asymmetries are clear. In the first period (2002-2011), Lisbon achieved a net reduction of 858.9 ktCO₂, surpassing Porto, which mitigated 328.9 ktCO₂. The divergence widened in the second period (2011-2021): Lisbon deepened its decarbonization with a massive reduction of 801.7 ktCO₂ — leveraged by gains in energy intensity (-830.8 ktCO₂) and the reversal of the transport sector —, while Porto recorded a net increase in emissions of 60.8 ktCO₂.

The main conclusions point to the superiority of the Lisbon regulatory model in mobility management and the existence of a 'modernization trap' in Porto. This trap materialized in the commitment to expand the natural gas network in the residential sector, driven by a national energy policy that promoted the diversification of sources, which was not reflected in the same way in Lisbon because the trajectories of the cities are different, which ultimately reversed the gains from the emission factor (+30.5 ktCO₂), nullifying efficiency efforts on other fronts.

Key-words: Energy Transition; Descarbonisation; Logarithmic Mean Divisia Index; Urban Governance

Índice

Agradecimentos	iii
Resumo.....	iv
Abstract	v
Índice Figuras.....	viii
Índice Tabelas	Erro! Marcador não definido.
1. Introdução	1
2. Revisão da Literatura.....	6
2.1 Contexto Político.....	6
2.1.1 A Era de Quioto e a Emergência da Ação Climática (1995-2008).....	6
2.1.2 Do Impasse Global à Consolidação da Ação Local (2009-2014)	7
2.1.3 Paris, o Pacto Ecológico Europeu e a Ambição Acelerada (2015-2023).....	7
2.2 Estudos de Decomposição.....	11
2.2.1 Escala Global, Europeia e Nacional.....	11
2.2.2 Escala Urbana	16
3. Metodologia	21
3.1 Dados Quantitativos e Fontes Primárias.....	21
3.2 Modelo LMDI	23
3.4 Explicação das Componentes da Decomposição	26
3.4.1 Efeito de Produção (Output).....	26
3.4.2 Efeito na Estrutura	27
3.4.3 Efeito Tecnológico.....	27
3.4.4 Efeito de Substituição de Combustível	28
4. A Trajetória de Lisboa.....	28
4.1. O Contexto Metropolitano	29
4.2. Fase I (1995-2007): A Génese da Consciência Ambiental	33
4.2.1. Contexto Político e Institucional: Primeiros Passos num Cenário de Crescimento	34
4.3. Fase II (2008-2015): Institucionalização e Planeamento Energético	37
4.3.1. Contexto Político e Institucional: A Influência Europeia e a Formalização de Metas	38
4.3.2. Análise Quantitativa do Período: Primeiros Sinais de Desacoplamento	39
4.4. Fase III (2016-2023): Aceleração para a Neutralidade Climática	41

4.4.1. Contexto Político e Institucional: Aumento Exponencial da Ambição	41
4.4.2. Análise Quantitativa do Período: Acelerando a Transição em Meio a Desafios ..	43
4.5. Análise Quantitativa Agregada do Desempenho de Descarbonização (1995-2023) ..	45
4.5.1. Evolução dos Indicadores Macroeconómicos e Ambientais	46
4.5.2. Decomposição dos Fatores de Emissão: Análise LMDI (2002-2021)	47
5. A Trajetória do Porto	57
5.1 O Contexto Metropolitano	57
5.2 Fase I (1995-2006): Passos Fundamentais e Aprendizagem Institucional.....	61
5.3 Fase II (2007-2015): A Emergência de uma Governança Energética Estruturada	63
5.4 Fase III (2016-2023): Ambição Acelerada e Ação Colaborativa.....	65
5.5 Evolução dos Indicadores Macroeconómicos e Ambientais.....	69
5.6 Decomposição dos Fatores Determinantes das Emissões de CO ₂ (2004-2021): Uma Análise LMDI	70
6. Discussão de Resultados.....	78
6.1 O Motor da Mitigação: O Triunfo da Regulação em Lisboa (Efeito Intensidade)	80
6.2 O Travão da Descarbonização: A "Armadilha da Modernização" no Porto (Efeito Fator de Emissão)	83
6.3 A Pressão Socioeconómica: O Crescimento Desacoplado (Lisboa) vs. Acoplado (Porto).....	86
6.4 O Ponto Cego da Governação Local: A Falha Partilhada na Indústria	88
7. Conclusão	90
8. Bibliografia.....	93

Índice Figuras

Figura 1 - Taxa de Crescimento da População (1995-2023). Fonte: Elaboração própria.....	31
Figura 2 - Taxa de Crescimento do Consumo de Gasolina (1995-2023). Fonte: Elaboração própria	32
Figura 3 - Taxa de Crescimento do Consumo de Gasóleo (1995-2023). Fonte: Elaboração própria	32
Figura 4 - Evolução das Emissões de CO ₂ Per Capita expresso em toneladas de CO ₂ (1995-2007). Fonte: autor com base na informação recolhida no INE e DGEG	36
Figura 5 - Evolução do Consumo de Energia expresso em TJ (1995-2007). Fonte: autor com base na informação recolhida na DGEG	37
Figura 6- Evolução do nº de dormidas em estabelecimentos hoteleiros (2002-2015), Fonte: autor com base na informação recolhida no INE.	40
Figura 7 - Evolução do Consumo de Energia expresso em TJ (2008-2015). Fonte: autor com base na informação recolhida na DGEG	41
Figura 8 - Evolução do Consumo de Energia expresso em TJ (2016-2023). Fonte: autor com base na informação recolhida na DGEG	43
Figura 9 - Evolução das Emissões de CO ₂ Per Capita expresso em toneladas de CO ₂ (1995-2023). Fonte: autor com base na informação recolhida do INE e DGEG	44
Figura 10 - Evolução do nº de dormidas em estabelecimentos hoteleiros (2002-2023). Fonte: autor com base na informação recolhida no INE	45
Figura 11 - Taxa de Crescimento da População (1995-2023). Fonte: elaboração própria....	58
Figura 12 - Taxa de Crescimento do Consumo de Gasolina (1995-2023). Fonte: elaboração própria	59
Figura 13 - Taxa de Crescimento do Consumo de Gasóleo (1995-2023). Fonte: elaboração própria	59
Figura 14 - Evolução do Consumo de Energia expresso em TJ (1995-2006). Fonte: autor com base na informação recolhida da DGEG	62
Figura 15 - Evolução do nº de dormidas em estabelecimentos hoteleiros (2002-2019). Fonte: autor com base na informação recolhida no INE	67
Figura 16 - Evolução do Consumo de Energia expresso em TJ (2016-2023). Fonte: autor com base na informação recolhida da DGEG.....	68

Figura 17 - Evolução das Emissões de CO₂ Per Capita expresso em toneladas (1995-2023).

Fonte: autor com base na informação recolhida no INE e DGEG68

Figura 18 - Variação dos Efeitos do LMDI expressos em KtCO₂ (2011-2021)79

Índice Tabelas

Tabela 1 - Síntese da Evolução das Políticas e Metas de Descarbonização (1995-2008).	9
Tabela 2 - Síntese da Evolução das Políticas e Metas de Descarbonização (2009-2014)	10
Tabela 3 - Síntese da Evolução das Políticas e Metas de Descarbonização (2015-2023)	10
Tabela 4 - Indicadores Chave de Desempenho de Lisboa (1995-2023), Fonte: autor com base na informação recolhida do INE, DGEG e Banco de Portugal	47
Tabela 5 - Resultados Agregados LMDI (2002-2021). Fonte: autor com base na informação recolhida da DGEG e Banco de Portugal	49
Tabela 6 - Decomposição das emissões de CO ₂ em Lisboa (2002-2011). Fonte: autor com base na informação recolhida da DGEG e Banco de Portugal.....	51
Tabela 7 - Decomposição das emissões de CO ₂ em Lisboa expresso em Kt CO ₂ (2011-2021). Fonte: autor com base na informação recolhida da DGEG e Banco de Portugal	53
Tabela 8 - Evolução do Fator de Emissão em % (2011-2021). Fonte: autor com base na informação recolhida da DGEG.....	56
Tabela 9 - Indicadores Chave de Desempenho do Porto (1995-2023). Fonte: autor com base na informação recolhida da DGEG e Banco de Portugal.....	70
Tabela 10 - Resultados Agregados LMDI expresso em Kt CO ₂ (2004-2021). Fonte: autor com base na informação recolhida da DGEG e Banco de Portugal.....	71
Tabela 11 - Decomposição das emissões de CO ₂ no Porto expresso em Kt CO ₂ (2004-2011). Fonte: autor com base na informação recolhida da DGEG e Banco de Portugal	72
Tabela 12 - Decomposição das emissões de CO ₂ no Porto expresso em Kt CO ₂ (2011-2021). Fonte: autor com base na informação recolhida da DGEG e Banco de Portugal	75
Tabela 13 - Evolução do Fator de Emissão em % (2011-2021). Fonte: autor com base na informação da DGEG	77
Tabela 14 - Síntese Comparativa da Decomposição LMDI Agregada para Lisboa e Porto expresso em KtCO ₂ (2011-2021). Fonte: autor com base na informação recolhida da DGEG e Banco de Portugal	80
Tabela 15 - A Inversão do Setor de Transportes em Lisboa. Fonte: autor com base na informação recolhida da DGEG e Banco de Portugal.....	83

Tabela 16 - A Reversão do Efeito Fator de Emissão no Porto expresso em Kt CO ₂ Fonte: autor com base na informação recolhida da DGEG e Banco de Portugal.....	85
Tabela 17 - Análise Comparativa do Desacoplamento expresso em Kt CO ₂ (2011-2021). Fonte: autor com base na informação recolhida da DGEG e Banco de Portugal	87
Tabela 18 - Resultado Comum de Eficiência no Setor Industrial expresso em Kt CO ₂ (2011-2021). Fonte: autor com base na informação recolhida da DGEG e Banco de Portugal	89
Tabela 19 - Principais Políticas. Fonte: Adaptado Felício et al. (2024)	102
Tabela 20 - Dados de Conversão Gás Natural (2001-2023)	103
Tabela 21 - Dados de Conversão de Produtos Petrolíferos (1995-2023).....	104
Tabela 22 - Dados de Conversão para CO ₂ . Fonte: IPCC 2006.....	105

1. Introdução

A crise climática representa o desafio definidor do século XXI, exigindo uma transformação profunda e acelerada dos sistemas socioeconómicos globais. No centro desta transformação encontram-se as cidades. Ocupando aproximadamente 3% da superfície terrestre, são responsáveis por mais de 70% das emissões globais de dióxido de carbono (CO₂) (UN-Habitat, 2022), sendo, por isso, os principais motores das alterações climáticas. Simultaneamente, enquanto centros de densidade populacional, atividade económica e inovação, as cidades possuem um potencial incomparável para liderar a transição energética, que se refere à mudança estrutural nos sistemas de energia, afastando-se dos modelos baseados em combustíveis fósseis para um assente em fontes de baixo carbono ou renováveis (IEA, 2021). Este processo é fundamental para a descarbonização, entendida como a redução ou eliminação das emissões de carbono na atmosfera, com o objetivo final de alcançar uma economia com emissões reduzidas e atingir a neutralidade climática (IPCC, 2018). A descarbonização implica uma reorganização fundamental da forma como as sociedades urbanas se constroem, trabalham, se aquecem e arrefecem, se alimentam e se deslocam. A ação a nível local é, por isso, indispensável, envolvendo reformas no uso do solo, nos códigos de construção, no zoneamento e na eletrificação de edifícios e frotas de veículos públicos (Seto et al., 2014).

Existem 4 formas de alcançar estas metas. A primeira consiste em reduzir a intensidade energética (E/Y), ou seja, a quantidade de energia necessária para produzir uma unidade de riqueza. Isto é alcançado através de duas vias complementares: melhorias na eficiência energética (obter o mesmo serviço com menos energia, através de tecnologias e combustíveis mais eficientes) e através de alterações estruturais na economia, favorecendo setores de atividade menos intensivos em energia. A segunda grande via é a redução da intensidade carbónica da energia (Emissões/Energia), que se materializa na transição energética, na substituição de combustíveis fósseis por fontes de energia renováveis e de baixo carbono. Teoricamente, a redução da atividade económica ou da população também levaria a uma diminuição das emissões, mas o foco das políticas climáticas reside na dissociação entre o crescimento económico e o seu impacto ambiental (Junod, Tarnaghan,

Fu, & Hewes, 2024). A vulnerabilidade das cidades a impactos climáticos agudos, como inundações e ondas de calor, torna a implementação destas estratégias não apenas uma responsabilidade global, mas uma necessidade imperativa para a sua própria resiliência e prosperidade futura (Revi et al., 2014).

Portugal, enquanto Estado-Membro da União Europeia, está inserido num dos enquadramentos políticos mais ambiciosos do mundo em matéria de ação climática. As diretivas europeias e as estratégias nacionais, como o Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC 2030) (APA, 2024) e a Lei de Bases do Clima (Lei n.º 98/2021), estabelecem metas e orientações vinculativas que se aplicam a todo o território. No entanto, a implementação destas políticas e o sucesso da transição energética dependem, em grande medida, da ação ao nível local. Neste contexto, Lisboa e Porto, as duas áreas metropolitanas do país, emergem como laboratórios cruciais para a descarbonização. Ambas as cidades partilham um enquadramento legal e político nacional e supranacional idêntico, o que permite controlar estas variáveis e focar a análise nos fatores endógenos que moldam as suas trajetórias. As suas semelhanças enquanto principais centros económicos e populacionais de Portugal tornam a comparação pertinente, mas são as suas diferenças que a tornam verdadeiramente rica. Lisboa, como capital, possui uma estrutura administrativa historicamente mais centralizada e uma economia fortemente orientada para os serviços e o turismo (Fundação Calouste Gulbenkian, 2015). O Porto, por sua vez, é o centro de uma região com uma forte herança industrial e tem desenvolvido um modelo de governança metropolitana mais policêntrico e colaborativo (Balsas, 2020).

Estas características distintas — centralização versus policentrismo, economia de serviços versus base industrial, diferentes culturas políticas e institucionais — criam um experimento natural para investigar como os contextos locais medeiam a implementação de políticas climáticas. O objetivo principal desta tese é, portanto, analisar e comparar as trajetórias destas duas cidades, desvendando os fatores que moldaram os seus caminhos distintos para a descarbonização. Ao analisar como cada cidade traduziu os mesmos imperativos nacionais e europeus em estratégias, instrumentos e resultados concretos ao longo de quase três décadas, é possível extrair lições valiosas sobre os fatores que facilitam

ou dificultam a transição energética urbana em contextos do Sul da Europa, uma região frequentemente sub-representada na literatura científica sobre o tema.

A presente investigação é orientada por uma questão central que procura desvendar a complexa interação entre os enquadramentos políticos partilhados e as dinâmicas locais específicas na condução da transição energética urbana.

Como se comparam as trajetórias de emissões de gases com efeito de estufa de Lisboa e do Porto entre 1995 e 2023?

Quais os principais fatores que contribuíram para a evolução dessas emissões em cada uma das cidades?

É possível observar uma contribuição diferenciada das políticas e modelos de governação locais na evolução das emissões?

Para responder a estas questões, foi formulada uma hipótese de trabalho que será testada ao longo da tese:

Hipótese: A eficácia das políticas e da governação local é o fator determinante que explica as diferenças observadas nas trajetórias de descarbonização de Lisboa e do Porto. Fatores endógenos — como a cultura institucional, a capacidade técnica, a agência política e a adesão a redes de cidades — medeiam a implementação de políticas nacionais e europeias, resultando em resultados distintos.

Esta tese procura contribuir para o campo académico dos estudos de transições para a sustentabilidade e da governação climática urbana. A sua pertinência e potencial contributo podem ser delineados em três eixos principais.

Primeiramente, o estudo procura endereçar uma lacuna geográfica e contextual na literatura internacional. Grande parte dos estudos sobre transições urbanas foca-se em cidades do Norte da Europa, cujos contextos institucionais, económicos e políticos diferem dos encontrados no Sul da Europa (Stockdale & Avdikos, 2025). Ao centrar-se em Lisboa e no Porto, esta tese oferece uma análise da governação climática num contexto sul-europeu, examinando como as particularidades institucionais e as culturas de governação em Portugal

podem moldar a capacidade de transição, contribuindo assim para uma compreensão potencialmente mais matizada e geograficamente equilibrada do fenómeno.

Em segundo lugar, a sua abordagem longitudinal, que abrange um período de 28 anos (1995-2023), representa uma oportunidade para uma análise dinâmica. Muitos estudos de caso oferecem uma análise estática ou de curto prazo. Em contraste, esta abordagem permite uma compreensão da evolução da governação climática, capturando a dependência da trajetória¹, a emergência de novas políticas e a maturação das capacidades institucionais ao longo do tempo. Este arco temporal permite analisar o percurso desde os primeiros passos pós-Cimeira do Rio até aos mais recentes compromissos de neutralidade climática, proporcionando uma perspetiva detalhada do processo.

De seguida, o desenho metodológico de comparação sistemática e controlada oferece uma oportunidade para uma análise aprofundada. Para quantificar os fatores motrizes das emissões de carbono ao longo do tempo, aplicar-se-á uma decomposição das emissões de CO₂ das duas cidades em quatro fatores para destrinçar o efeito de variáveis socioeconómicas (efeito de atividade e efeito de estrutura) de variáveis de política energética (efeito de intensidade e efeito fator de emissão). Para isso utiliza-se o método LMDI, uma metodologia amplamente aceite e usada por decisores políticos (Ang, 2005).

Como veremos, embora esta metodologia tenha sido aplicada em estudos de caráter global, europeu ou nacional (Xia et al., 2021), a sua aplicação ao estudo de cidades ainda é limitada, predominando os estudos de cidades chinesas, com uma realidade muito diferente da europeia. Para Portugal, ainda não foram feitas decomposições de CO₂ à escala urbana, nem existem comparações, posto isto, ao analisar duas cidades, dentro do mesmo quadro nacional, a investigação permite uma análise mais controlada do impacto das variáveis locais (governança, agência política, estruturas socioeconómicas) do que seria possível em comparações entre cidades de países diferentes. Esta abordagem procura ir além da simples descrição de políticas para explorar as dinâmicas causais subjacentes, questionando porquê

¹ Dependência da trajetória ou path dependency segundo Eitan e Hekkert (2023) pode ser definida como uma ideia de que as escolhas e eventos passados podem dar origem a uma trajetória que influencia fortemente os resultados futuros.

certas estratégias podem funcionar melhor em determinados contextos urbanos e, com isso, ambiciona oferecer um contributo empírico e teórico relevante para o campo.

A tese está organizada em sete capítulos, concebidos para guiar o leitor de forma lógica desde a fundamentação teórica até à análise empírica e às conclusões.

O Capítulo 1 introduz a problemática da descarbonização urbana, justifica a relevância do estudo, apresenta a questão de investigação, as hipóteses e os objetivos, e delinea a estrutura geral do trabalho.

O Capítulo 2 realiza uma revisão de literatura, começando por demonstrar a evolução das políticas implementadas desde 1995 até 2023 e uma revisão do estudo de decomposição de emissões a nível global, europeu, do país e urbano.

O Capítulo 3 descreve a metodologia de investigação.

Os Capítulos 4 e 5 são dedicados à análise aprofundada dos dois estudos de caso. O Capítulo 4 reconstrói a trajetória de descarbonização de Lisboa, enquanto o Capítulo 5 faz o mesmo para o Porto, analisando em ambos os casos a evolução das políticas, da governação e do desempenho ao longo do período em estudo. Estes estudos estão divididos em 3 momentos, o primeiro diz respeito a 1995-até ao ano anterior à adesão do pacto dos autarcas, o segundo seguindo o mesmo raciocínio retoma até a retificação e por último até à atualidade.

O Capítulo 6 constitui o núcleo analítico da tese, realizando uma comparação sistemática entre Lisboa e Porto. Este capítulo compara os modelos de governação, o desempenho setorial e discute os fatores explicativos para as divergências e convergências observadas.

Finalmente, o Capítulo 7 apresenta as conclusões da investigação, sintetizando os principais resultados, discutindo as suas implicações teóricas e para as políticas públicas, reconhecendo as limitações do estudo e propondo uma agenda para pesquisas futuras.

2. Revisão da Literatura

2.1 Contexto Político

2.1.1 A Era de Quioto e a Emergência da Ação Climática (1995-2008)

A arquitetura da governação climática global começou a tomar forma com a adoção do Protocolo de Quioto em 1997. Este tratado introduziu o princípio das responsabilidades comuns, porém diferenciadas, impondo metas obrigatórias de redução de emissões aos países industrializados (Wiener & Felgenhauer, 2024). Embora inovador, o Protocolo focou-se num paradigma centrado no Estado, ignorando o papel formal das cidades na sua estrutura.

Enquanto o cenário global enfrentava desafios diplomáticos de implementação, a União Europeia assumiu a liderança na internalização destes compromissos. A medida mais emblemática foi a criação do Regime Comunitário de Licenças de Emissão (EU-ETS), que entrou em vigor em 2005. Este mercado de carbono criou uma pressão regulatória direta sobre os grandes emissores industriais e o setor energético, mas deixou de fora setores difusos cruciais para a descarbonização urbana, como os edifícios e os transportes locais (Bayer & Aklin, 2020).

Em Portugal, a política climática desta fase espelhou esta lógica centralizada. O país ratificou o Protocolo de Quioto em 2002, beneficiando de um acordo europeu de partilha de responsabilidades que lhe permitia aumentar as suas emissões até um limite de 27% face a 1990 (Comunidade Europeia, 2002). Consequentemente, a ação nacional centrou-se no cumprimento de metas ao nível do Estado e na regulação dos setores industriais abrangidos pelo mercado de carbono (Carvalho et al., 2014), sem delegar responsabilidades diretas aos municípios.

O ponto de viragem na governação ocorreu apenas em 2008, quando a Comissão Europeia reconheceu este vazio estratégico e lançou o Pacto de Autarcas. Esta iniciativa marcou o início de um paradigma bottom-up, oferecendo pela primeira vez às cidades, incluindo as portuguesas, um enquadramento formal e apoio técnico para estruturarem a sua própria ação climática (Rivas et al., 2015).

2.1.2 Do Impasse Global à Consolidação da Ação Local (2009-2014)

Este período foi marcado por uma dualidade notável: enquanto a diplomacia climática global enfrentava um impasse entre o Acordo de Copenhaga (2009) e a Plataforma de Durban (2011), incapaz de suceder a Quioto com um tratado robusto, a União Europeia aprofundava a sua arquitetura de governação interna para manter a dinâmica de descarbonização (Falkner, 2016).

Perante este vácuo político internacional, o Pacto de Autarcas consolidou-se como um pilar fundamental. Embora mantendo a sua natureza de adesão voluntária, a iniciativa evoluiu para um sistema de planeamento rigoroso. A exigência de submissão de um Plano de Ação para a Energia Sustentável (PAES) obrigou as cidades a realizarem diagnósticos técnicos e inventários de emissões, transformando a assinatura política numa oportunidade de capacitação institucional das administrações municipais (Amorim, 2014).

Neste contexto, e para oferecer um rumo claro face à incerteza global, a Comissão Europeia preenchia o horizonte estratégico com o Roteiro de 2050, estabelecendo trajetórias de descarbonização de longo prazo. Este sinal político permitiu que cidades como Lisboa e Porto, ao aderirem ao Pacto, alinhassem as suas estratégias locais com um projeto europeu estável (Comissão Europeia, 2011).

O período consolidou assim um modelo de governação multinível resiliente. Ao apostar diretamente nas cidades, a UE conseguiu demonstrar que a ação climática prosseguia no terreno, independentemente da estagnação das negociações da ONU, tornando a ligação UE-cidade num pilar central da política climática (Kern & Alber, 2008).

2.1.3 Paris, o Pacto Ecológico Europeu e a Ambição Acelerada (2015-2023)

A assinatura do Acordo de Paris em 2015 marcou uma rutura com o passado, substituindo a arquitetura de Quioto por um modelo universal e de ambição crescente, focado em limitar o aumento da temperatura global a 1,5°C (Falkner, 2016). Este novo paradigma político foi acelerado pela evidência científica do Painel Intergovernamental sobre

Alterações Climáticas (IPCC), cujos relatórios do Sexto Ciclo de Avaliação (AR6) alertaram para a vulnerabilidade crítica dos sistemas urbanos e a necessidade de uma transformação profunda e imediata (IPCC, 2022).

Em resposta a esta urgência, a União Europeia lançou a sua iniciativa mais transformadora, o Pacto Ecológico Europeu (*European Green Deal*), em 2019, consagrando o objetivo de neutralidade climática até 2050 na Lei Europeia do Clima (European Commission, 2019). Para tornar esta meta irreversível, a Comissão apresentou o pacote legislativo "Fit for 55", que criou pressões regulatórias diretas sobre a governação urbana. Este pacote reformou políticas estruturais, impondo padrões de eficiência energética mais rigorosos através da revisão da Diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD), aumentando a quota obrigatória de fontes limpas via Diretiva de Energias Renováveis, e exigindo a expansão da rede de carregamento elétrico através do Regulamento de Infraestruturas para Combustíveis Alternativos (AFIR). Adicionalmente, a proposta de um novo sistema de comércio de emissões para edifícios e transporte rodoviário (ETS 2) veio impactar diretamente os custos energéticos, criando incentivos económicos para a descarbonização (Berghmans, 2022).

Portugal alinhou-se com esta trajetória através do Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC 2050), mas o momento decisivo para a governação local ocorreu com a aprovação da Lei de Bases do Clima (Lei n.º 98/2021). Este diploma alterou fundamentalmente a natureza da ação climática municipal, o que antes era um exercício de adesão voluntária, tornou-se uma imposição legal. O Artigo 14.º estabeleceu a obrigatoriedade de todos os municípios aprovarem Planos Municipais de Ação Climática (PMAC), institucionalizando a resposta à emergência climática no ordenamento jurídico nacional (APA, 2024).

Perante este novo enquadramento coercivo e as oportunidades de financiamento do Portugal 2030 e do Plano de Recuperação e Resiliência (PRR), Lisboa e Porto optaram por uma estratégia de liderança. Ambas as cidades transcenderam os requisitos mínimos nacionais ao integrarem redes globais como a C40 e a Missão da UE para as Cidades Inteligentes, antecipando a meta de neutralidade carbónica para 2030. Esta fase representa,

assim, a maturação final da governação climática, de incipiente e voluntária, para juridicamente vinculativa, financiada e politicamente prioritária.

A tabela 1,2 e 3 listam as principais metas e políticas climáticas de Lisboa e Porto, que explicaremos em detalhe no capítulo 4 e 5, em contraste com os marcos globais, europeus e nacionais dos diferentes períodos (para uma descrição mais detalhada consultar anexo I).

Período	Contexto Global e Europeu (Meta EU)	Nacional	Municipal
Fase I (1995-2008)	Protocolo de Quioto (1997) Metas vinculativas para países desenvolvidos. EU-ETS (2005) Comércio de emissões para a indústria	Ratificação de Quioto (2002) Límite de crescimento de emissões até +27%. PNAC (2004/2006) Foco na mitigação e cumprimento estatal	Sem metas de redução quantificadas. Lisboa: Matriz Energética (2005). Porto: Criação da AdEPorto (2007)

Tabela 1 - Síntese da Evolução das Políticas e Metas de Descarbonização (1995-2008).

Período	Contexto Global e Europeu (Meta EU)	Nacional	Municipal
Fase II (2009-2014)	Pacote Clima-Energia 2020 Meta: -20% emissões até 2020. Pacto de Autarcas (2008) Compromisso voluntário das cidades.	PNAER (2010) Foco nas energias renováveis. Fiscalidade Verde (2014) Introdução de taxas de carbono	Institucionalização (PAES) Adesão ao Pacto de Autarcas. Lisboa: PAES 2012 (Meta -20%). Porto: PAES 2010 (Meta -20%)

Tabela 2 - Síntese da Evolução das Políticas e Metas de Descarbonização (2009-2014)

Período	Contexto Global e Europeu (Meta EU)	Nacional	Municipal
Fase III (2015-2023)	Acordo de Paris (2015) Limitar aquecimento a 1.5°C. Lei Europeia do Clima (2021) Neutralidade em 2050.	RNC 2050 (2019) Roteiro para a Neutralidade. Lei de Bases do Clima (2021). Planos municipais obrigatórios.	Aceleração (Neutralidade 2030) Lisboa: PAC 2030 (-70%). Porto: Pacto do Porto. Ambas: Missão Cidades da EU.

Tabela 3 - Síntese da Evolução das Políticas e Metas de Descarbonização (2015-2023)

2.2 Estudos de Decomposição

As metodologias de decomposição de análise do tipo shift-share são frequentemente utilizadas pelos economistas de energia para estudar as causas da variação nas emissões ao longo do tempo, e ultrapassar a análise meramente dos agregados estatísticos. O valor intrínseco destas ferramentas reside na sua capacidade de isola a contribuição marginal de vetores determinantes distintos. Ao segregar o efeito de atividade, efeito de intensidade, efeito de estrutura e o efeito fator de emissão, estes modelos permitem discernir se as oscilações observadas decorrem de um efetivo dissociação (decoupling) estrutural ou de flutuações conjunturais da atividade económica.

Sob este prisma, a análise transversal da literatura revela um impasse fundamental que reside no âmago do desafio da descarbonização, a existência de uma tensão dialética persistente entre as forças expansionistas do crescimento demográfico e económico e os vetores de mitigação, impulsionados pela eficiência tecnológica e pela otimização estrutural.

Contudo, a incipiência da produção científica focada na idiosincrasia do contexto português impõe o recurso à análise comparada de investigações desenvolvidas em cenários internacionais análogos. Assim, com o propósito de escrutinar a realidade nacional à luz das melhores práticas globais, proceder-se-á à revisão crítica de estudos que mobilizam, entre outros, o método Logarithmic Mean Divisia Decomposition (LMDI), elucidando a sua aplicabilidade e os objetivos subjacentes nos respetivos panoramas nacionais.

2.2.1 Escala Global, Europeia e Nacional

A análise a uma escala global e de longo prazo revela uma narrativa clara sobre os impulsionadores das emissões de CO₂. Historicamente, em fases iniciais de desenvolvimento com baixos níveis de rendimento, o principal fator para o aumento das emissões não foi a atividade económica, mas sim a mudança de combustível, a transição da biomassa para os combustíveis fósseis. Este processo de "carbonização" foi o principal impulsionador das alterações nas emissões até ao início do século XX em países industrializados (Henriques &

Borowiecki, The drivers of long-run CO₂ emissions in Europe, North America and Japan since 1800, 2017).

Na era contemporânea (2000-2017), a dinâmica mudou. Os crescimentos económicos e populacionais tornaram-se as forças dominantes que impulsionam o aumento das emissões. Um estudo abrangente de 138 países concluiu que o rendimento (PIB per capita) foi responsável por 116% do aumento das emissões globais, enquanto o crescimento da população contribuiu com 60% adicionais. Em contrapartida, a principal força de mitigação tem sido a melhoria da intensidade energética (energia por unidade de PIB), que compensou 80% desses aumentos. A intensidade de carbono (CO₂ por unidade de energia), que reflete a limpeza da matriz energética, teve um papel historicamente menor, mas começou a contribuir para a redução de emissões nos anos mais recentes, sinalizando o início de uma transição global para energias mais limpas (Xia, Wang, Liu, & Pan, 2021).

A União Europeia (UE) representa uma fase mais avançada de descarbonização, tendo alcançado um estado de "Forte Dissociação", onde o crescimento do PIB ocorre em simultâneo com a diminuição das emissões de CO₂. Uma análise ao período de 1995-2019 quantifica este sucesso: os fatores técnicos (melhoria da intensidade de carbono, da estrutura energética e da intensidade energética) foram responsáveis por uma redução massiva de 1723 Mt de CO₂, superando o aumento de 1397 Mt causado pelos fatores socioeconómicos (crescimento do PIB e da população). A introdução de políticas energéticas e climáticas ambiciosas, como o Sistema de Comércio de Emissões da UE (EU ETS) em 2005, é identificada como um catalisador chave que acelerou este processo de dissociação (Bianco et al., 2024).

No entanto, este sucesso é matizado pela questão da externalização de emissões. A dissociação é mais rápida e significativa quando se medem as emissões baseadas na produção (dentro das fronteiras da UE) do que quando se medem as emissões baseadas no consumo. Isto sugere que parte da redução de emissões da UE é atribuível à deslocalização de indústrias intensivas em emissões para fora do bloco (Papiez et al., 2021).

A trajetória de Portugal está inserida no contexto do Sul da Europa, uma região que registou a mais dramática inversão de tendência de emissões de toda a Europa. Este bloco passou de um forte aumento de emissões no período pré-Quito (1999-2004) para uma

diminuição substancial no período pós-Quito (2005-2010). A análise específica para Portugal confirma que o país alcançou um estado de Forte Dissociação entre 2005 e 2019. Este sucesso foi impulsionado por fortes melhorias na intensidade energética, na intensidade de carbono e na estrutura energética, que conseguiram neutralizar o impacto do crescimento do PIB per capita. A inversão de tendência no Sul da Europa, incluindo Portugal, foi impulsionada por uma contribuição mitigadora massiva do efeito de produtividade da capacidade renovável e do efeito de intensidade energética no período pós-2005. Isto sugere que a rápida expansão e a utilização eficiente da capacidade de energias renováveis foram fundamentais para a transição bem-sucedida de Portugal (Felício et al., 2024).

O estudo de Felício et al. (2024) tem como objetivo quantificar os principais vetores da (des)carbonização relativa em Portugal numa perspetiva de longo prazo, abrangendo o período de 1960 a 2016, com um foco especial no papel da eletrificação. A metodologia combina a Contabilidade Societal da Exergia (SEA), que permite distinguir entre a energia final entregue ao consumidor e a exergia útil (o trabalho efetivamente realizado), com a Análise de Decomposição do LMDI. Esta abordagem inovadora permite uma análise mais precisa da eficiência real do sistema energético e dos seus impactos ambientais ao longo de toda a cadeia de conversão.

A análise histórica revela que a intensidade de carbono da exergia útil em Portugal seguiu uma trajetória de U invertido, atingindo o seu pico no final da década de 1990. Este aumento foi impulsionado por políticas de desenvolvimento económico que promoveram o uso intensivo de combustíveis fósseis importados. Uma descarbonização relativa significativa só ocorreu na década de 2000-2010, como resultado direto de políticas que incentivaram o investimento massivo em energias renováveis para a produção de eletricidade. Um ponto central do estudo é que a eletrificação, por si só, não garante a descarbonização. O seu contributo só se tornou positivo quando a rede elétrica se tornou suficientemente limpa, cumprindo três condições quantitativas: uma quota mínima de eletrificação no consumo final, uma quota mínima de renováveis no mix primário global (acima de 33%) e uma quota mínima de gás natural no mix de combustíveis fósseis para geração elétrica (acima de 30%).

O artigo de Kirikkaleli et al. (2023) foca-se na análise do impacto assimétrico de um conjunto de variáveis macroeconómicas — consumo de energia renovável, crescimento do

PIB, consumo total de energia e intensidade de CO₂ do PIB — sobre as emissões de CO₂ em Portugal. A investigação utiliza uma metodologia econométrica, especificamente o Modelo Não Linear de Atrasos Distribuídos Auto-Regressivos (NARDL), aplicado a dados anuais do período entre 1990 e 2019. A principal vantagem deste modelo é a sua capacidade de distinguir os efeitos de choques positivos (aumentos) e negativos (diminuições) das variáveis independentes, revelando dinâmicas não lineares que modelos tradicionais não capturam. A análise NARDL revela dinâmicas assimétricas cruciais para a formulação de políticas. O consumo de energia renovável reduz as emissões de CO₂, mas uma diminuição no seu consumo tem um impacto negativo desproporcionalmente maior, sugerindo que retrocessos na política de renováveis têm um custo ambiental elevado. Por outro lado, o crescimento do PIB e a intensidade de CO₂ aumentam consistentemente as emissões, independentemente da direção do choque, o que indica uma ligação estrutural persistente entre a atividade económica e a degradação ambiental. Finalmente, um aumento no consumo total de energia eleva as emissões, mas uma redução tem um efeito neutro, o que sugere uma rigidez ou inércia na relação energia-emissões do país.

O trabalho de Martins et al. (2022) analisa o balanço energético de Portugal para identificar os vetores que devem ser eletrificados para a descarbonização e para mapear a escala do desafio que o país enfrenta. A metodologia consiste numa análise sistemática do fluxo do balanço energético nacional, com base em dados do Eurostat para o ano de 2019. Esta abordagem desagrega o sistema energético em quatro fases distintas: energia disponível de todas as fontes, transformação de energia, energia total disponível após transformação e consumo final de energia por setor.

A análise do balanço energético revela a magnitude dos desafios estruturais de Portugal. O sistema energético é caracterizado por uma dependência externa extrema, com as importações a representarem 78% da energia disponível, concentradas em produtos petrolíferos (54%) e gás natural (17%). O setor dos transportes emerge como o consumidor dominante de energia final, tornando a sua eletrificação uma prioridade crítica, mas também um dos maiores desafios. Um dos principais resultados do estudo é que, para se descarbonizar, Portugal precisa de eletrificar uma quantidade de energia equivalente a quase todas as suas importações atuais. Isto implica uma expansão massiva da capacidade de

geração de eletricidade a partir de fontes renováveis endógenas. Neste contexto, a eficiência energética é apresentada não como uma política complementar, mas como uma pré-condição essencial para tornar a escala da eletrificação necessária tecnicamente viável e economicamente comportável.

A investigação de (Pereira & Pereira, 2016) avalia os papéis relativos dos preços dos combustíveis fósseis, da eficiência energética e da tributação do carbono na redução de emissões em Portugal, analisando os seus impactos económicos e orçamentais. Para tal, os autores recorrem a um modelo Dinâmico de Equilíbrio Geral (DGE) calibrado para a economia portuguesa, que incorpora crescimento endógeno e um setor público detalhado. Esta metodologia permite simular cenários de políticas prospetivos, com projeções até 2030 e 2050, para identificar os trade-offs sistémicos.

A simulação revela a existência de um trade-off fundamental entre as principais políticas climáticas. Por um lado, a eficiência energética impulsiona o PIB e reduz as emissões, mas agrava a dívida pública e externa. Por outro, a implementação de uma taxa de carbono reduz as emissões e a dívida, mas fá-lo a um custo de contração do PIB. Nenhuma política isolada é, portanto, ótima. Para atingir as metas de 2030, o modelo estima que é necessárias uma combinação de um ganho de eficiência anual de 2% a 2.5% e uma taxa de carbono de pelo menos 35 € por tonelada de CO₂. O estudo também quantifica o "efeito rebound", que anula cerca de dois terços da poupança energética potencial decorrente dos ganhos de eficiência, sublinhando que estes não se traduzem numa redução de consumo na mesma proporção.

A transição do panorama geral para uma análise setorial específica revela que o conflito central entre crescimento e eficiência se manifesta de formas distintas e com diferentes alavancas de mitigação em cada setor da economia. Uma política de descarbonização eficaz deve, portanto, ser intrinsecamente setorial, reconhecendo que os fatores dominantes e as soluções viáveis nos transportes, na indústria e no setor residencial são fundamentalmente diferentes. (Alves & Moutinho, 2013)

Alves e Moutinho (2013) centra-se na decomposição da intensidade de emissões de CO₂ nos setores industriais portugueses, com o objetivo de identificar os principais fatores de mudança durante o período de 1996 a 2009. A metodologia utilizada é a técnica de

"decomposição completa", um modelo de Laspeyres refinado que evita resíduos na análise. Este método permite desagregar a variação da intensidade de emissões em quatro efeitos distintos: o efeito da qualidade e mix de combustíveis fósseis (CI), o efeito da quota de combustíveis fósseis e tecnologias de abate (CE), o efeito da intensidade energética ou eficiência (EI) e o efeito da estrutura económica (ES). A análise foi aplicada a 16 setores industriais.

O estudo apurou que o efeito da intensidade energética (EI), ou seja, os ganhos de eficiência e a modernização tecnológica, foi o principal motor da redução da intensidade de emissões de CO₂ no setor industrial durante o período analisado. A análise identifica também cinco setores industriais como sendo determinantes para a intensidade de emissões agregada: Indústrias extrativas, Coque e produtos petrolíferos refinados, Produtos químicos, Borracha/plásticos e outros produtos minerais não metálicos, e Eletricidade, gás e vapor. Adicionalmente, o estudo deteta uma causalidade bidirecional entre a intensidade de emissões de CO₂ e a quota de combustíveis fósseis no consumo total de energia, sugerindo a existência de um ciclo de retroalimentação.

2.2.2 Escala Urbana

Efetivamente, a uma escala urbana a maior representatividade que observamos na bibliografia científica são artigos com análises e decomposições a cidades chinesas, num contexto totalmente diferente do que vivemos, numa fase de desenvolvimento diferente e com modelos de crescimento diferentes. Mesmo assim, existem casos que merecem ser estudados.

Ao analisar quatro grandes municípios chineses, Liu et al. (2022) concluem que o efeito do crescimento do PIB e o efeito populacional foram os fatores que mais contribuíram para o aumento das emissões de carbono, com o crescimento económico a ser particularmente dominante nos municípios com desenvolvimento mais acelerado. De forma semelhante, a análise histórica e prospetiva de uma cidade no leste da China por Huang et al. (2024) e a análise da Área Metropolitana de Wuhan por Yang et al. (2016) convergem na

mesma conclusão, em que o desenvolvimento económico e a escala populacional são os principais impulsionadores positivos das emissões.

O pressuposto de que a melhoria da intensidade energética atua sempre como um fator de mitigação é desafiado por algumas evidências. O estudo de Liu et al. (2022) oferece um contraponto crítico, revelando que, embora a intensidade energética tenha contribuído para a redução de emissões em Pequim, teve um efeito positivo — isto é, aumentou as emissões — em Tianjin, Xangai e Chongqing. Esta descoberta sugere um cenário mais complexo, onde, em certas condições ou fases de desenvolvimento, o crescimento do consumo de energia dentro de setores específicos pode superar os ganhos de eficiência, resultando num aumento líquido da intensidade energética setorial e, conseqüentemente, das emissões totais.

A heterogeneidade espacial é outra dimensão crucial. A análise espacial da região de Beijing-Tianjin-Hebei por Yu et al. (2021) ilustra vividamente como o equilíbrio entre escala económica e intensidade energética pode variar drasticamente entre cidades vizinhas, explicando os seus perfis de emissão díspares. Em Tangshan, por exemplo, a grande escala económica e a elevada intensidade energética nos setores industrial e de transportes são as principais causas das suas emissões elevadas. Em Handan, uma estrutura energética desfavorável e uma alta intensidade energética explicam por que as emissões superam as de cidades com um nível económico semelhante. Esta variabilidade sublinha a inadequação de políticas climáticas uniformes e a necessidade de abordagens territorialmente diferenciadas que considerem as estruturas económicas e energéticas locais.

A análise comparativa de Xangai e Tóquio por Luo et al. (2017) introduz o conceito crítico de dependência da trajetória na mobilidade urbana. O estudo demonstra como as decisões de investimento em infraestruturas tomadas em fases iniciais do desenvolvimento urbano criam efeitos de lock-in² que definem os padrões de mobilidade e as emissões por décadas. Tóquio, com o seu investimento precoce e intenso numa rede ferroviária de alta densidade, aprisionou a cidade num modelo de desenvolvimento orientado para o transporte

² Conceito desenvolvido por Unruh (2000) para descrever como as economias industriais ficam presas em sistemas baseados em combustíveis fósseis devido a processos coevolutivos.

público (TOD), resultando em menores distâncias de viagem e menor utilização do automóvel. Em oposição, a priorização da expansão da rede viária em Xangai fomentou a dispersão urbana e uma forte dependência do automóvel, levando a um aumento das emissões impulsionado pela mudança modal para transportes de alta emissão.

Esta dinâmica evolui com o tempo. O estudo mais recente de Luo et al. (2024) sobre quatro megacidades chinesas revela uma transição temporal nos fatores dominantes. Na fase inicial de desenvolvimento (antes de 2010), o crescimento populacional era o principal motor. No entanto, numa fase mais tardia (após 2010), a motorização (distância de viagem e mudança modal) tornou-se o principal impulsionador, indicando o momento em que os padrões de mobilidade baseados no automóvel se consolidam. Este estudo também oferece uma visão contemporânea do impacto de choques externos, como a pandemia de COVID-19, que, embora tenha reduzido drasticamente as viagens a curto prazo, também induziu uma preocupante mudança modal de volta para o automóvel privado por razões de segurança sanitária, ameaçando reverter ganhos anteriores.

Uma das limitações históricas da análise de decomposição tem sido a dificuldade em isolar o impacto causal das ações políticas. O estudo de Malmö, Suécia, por Azevedo e Leal (2021) representa uma fronteira metodológica neste domínio. Ao desenvolver um modelo de decomposição personalizado que desagrega as alterações de emissões em 18 fatores, os autores conseguem isolar um termo residual que representa o efeito líquido das ações climáticas locais. A sua conclusão revela que as políticas locais de Malmö foram responsáveis por uma redução de 41% das emissões, mas o crescimento económico e populacional simultâneo neutralizou mais de metade desse ganho, resultando numa redução observada de apenas 19%. Esta metodologia oferece uma ferramenta poderosa para avaliar a eficácia real das políticas municipais.

Em Lisboa, Elliot et al. (2020) revelam que as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) relacionadas com a energia diminuíram aproximadamente 37% entre 2008 e 2016. Em 2016, o consumo energético da cidade gerou mais de 2 megatoneladas de CO₂ equivalente, sendo 48% emissões diretas dentro dos limites da cidade. O estudo atribui esta redução do consumo de energia principalmente ao sucesso das políticas de eficiência energética e energias renováveis, que surgiram após o Programa de Assistência Financeira de

2011, e à desativação de postos de combustível na cidade. No entanto, o artigo destaca um desequilíbrio crítico, dado que as florestas urbanas de Lisboa têm capacidade para sequestrar menos de 1% das emissões geradas pelo metabolismo energético da cidade. De facto, para compensar as suas emissões de 2016, Lisboa necessitaria de uma área de pinhal 30 vezes maior que a sua própria área. A conclusão principal é que, embora importantes, as soluções baseadas na natureza são insuficientes, e o foco deve ser a redução do consumo de combustíveis fósseis, particularmente nos setores do comércio e transportes.

O estudo de Ferrão e Cunha (2023) de cariz quantitativo, analisa o metabolismo urbano da Área Metropolitana de Lisboa e conclui que, apesar da sua elevada produtividade de recursos — impulsionada por uma economia dominada pelos serviços — a cidade externaliza a sua pegada ambiental. Este estudo assenta numa metodologia quantitativa que parte de dados nacionais para modelar a realidade urbana, superando a falta de dados físicos detalhados a nível local. O raciocínio para quantificar esta dependência externa iniciou-se com a análise do metabolismo de Portugal através de tabelas input-output, que medem as trocas de materiais em toneladas entre setores económicos. Para aplicar este modelo à AML, os investigadores desagregaram (downscaling) os dados nacionais utilizando fatores de escala específicos para cada setor, garantindo uma maior precisão. Por exemplo, o consumo final foi calculado com base na proporção da população da AML, enquanto os fluxos das indústrias transformadoras foram calculados com base na sua quota de consumo de energia, e os da construção e serviços com base na proporção de trabalhadores. Após estimar a produção e o consumo locais, o modelo aplicou um princípio de balanço de massa, se a procura de um material num setor de Lisboa excedia a sua produção local, a diferença era contabilizada como uma importação de outras regiões do país. Este cálculo revelou que 81% dos inputs materiais que sustentam a economia de Lisboa são importados de outras regiões de Portugal, fundamentando a conclusão de que a sua aparente eficiência é conseguida através da externalização de atividades intensivas em recursos.

Em suma, é possível identificar um conflito central na dinâmica das emissões de carbono, o crescimento económico e populacional são os principais fatores que as aumentam, enquanto a melhoria da eficiência e a redução da intensidade energética são as principais forças que as mitigam. No entanto, esta relação é complexa e varia

significativamente consoante o contexto. Fatores como a estrutura económica de cada cidade, as decisões de infraestrutura do passado (que criam uma "dependência da trajetória", por exemplo, entre o automóvel e os transportes públicos) e as dinâmicas de cada setor (como a motorização nos transportes ou a expansão urbana no setor residencial) determinam o resultado, tornando ineficazes as políticas de "tamanho único".

No contexto português, para além de se confirmar a importância da eficiência, a análise revela desafios estruturais críticos, como a elevada dependência de combustíveis fósseis importados e a necessidade de uma eletrificação massiva da economia. Atingir as metas climáticas implica gerir trade-offs difíceis entre políticas, como o impacto de uma taxa de carbono no PIB versus o impacto do investimento em eficiência na dívida pública. A conclusão fundamental é que as estratégias de descarbonização devem ser territorialmente diferenciadas e adaptadas às especificidades de cada setor, reconhecendo a natureza multifacetada do desafio.

3. Metodologia

É neste contexto complexo que os decisores políticos e planeadores urbanos enfrentam o desafio de desvendar a teia de fatores que determinam as emissões urbanas. As alterações nas emissões de uma cidade não são o resultado de uma única variável, mas sim da interação dinâmica entre crescimento populacional, desenvolvimento económico, estrutura industrial, padrões de mobilidade, eficiência tecnológica e o mix de fontes de energia. A ação governamental, por sua vez, não pode ser vista como a escolha de uma única política, mas sim como a necessidade de coordenar um conjunto de políticas destinadas a consolidar uma nova trajetória de produção, consumo e distribuição de energia. Para diagnosticar estas dinâmicas, a Análise de Decomposição de Índices (IDA) emergiu como uma ferramenta quantitativa poderosa e amplamente adotada. Especificamente, o método do LMDI, é reconhecido na literatura como a abordagem predominante para analisar os fatores que influenciam as emissões de CO₂ e o consumo de energia. A principal valência deste método reside na sua capacidade de desagregar uma variável agregada, como as emissões totais de CO₂, nas contribuições quantitativas dos seus fatores constituintes, permitindo assim identificar quais as forças que impulsionam ou inibem a descarbonização.

3.1 Dados Quantitativos e Fontes Primárias

A tese combina análise quantitativa e qualitativa, com foco na avaliação comparativa das políticas climáticas de Lisboa e Porto. Foram construídas séries de energia final e emissões de CO₂ associadas ao consumo de produtos energéticos como petróleo (e derivados), gás natural e eletricidade nas cidades de Lisboa e Porto com base nos dados publicados pela DGEG (referentes ao período de 1995 a 2023). Os dados, publicados em unidades físicas como toneladas métricas e Nm³ foram convertidos em GJ de forma a poderem ser agregados em séries de energia final (Anexo II e III). Com fim de estudar as emissões de CO₂ estes foram convertidos através dos fatores de conversão publicados pelo IPCC (Anexo IV). Para a conceção de mapas foi ainda utilizado QGIS.

Além disso, foram analisados os planos e políticas climáticas de Lisboa e Porto, como o Plano de Ação Climática Lisboa 2030 e o Pacto do Porto para o Clima, bem como as metas ambientais, políticas municipais e de transição energética desde 1990, tendo em vista uma análise comparativa para avaliar a eficácia e ambição das políticas implementadas. As medidas locais e as séries de emissões foram analisadas conjuntamente permitindo identificar como as políticas públicas contribuíram para alcançar as metas climáticas. Foram também examinadas as diferenças entre Lisboa e Porto em termos de estratégia e impacto, considerando variáveis como turismo, movimentos pendulares e infraestrutura.

Tendo em vista a execução da decomposição LMDI 1 foram retirados dados por setor de atividade e município do intervalo disponível, 2002 (dados extraídos das matrizes energéticas Lisboa e Porto) e 2008-2021, para que fosse possível segmentar as emissões por 4 setores económicos distintos (agricultura, indústria, transportes, serviços) e pelo setor residencial. Como os dados que a DGEG publica sobre transportes albergam também o transporte individual, este último teve ser estimado. A DGEG publica periodicamente um Inquérito nacional aos consumos de energia no setor doméstico que explicitam a quantidade de gasolina e gasóleo consumida pelas famílias (DGEG, 2010 e 2020). Assumiu-se que a % de gasóleo rodoviário usado no transporte individual a nível municipal é semelhante à registada a nível nacional e que 100% da gasolina era destinada a transporte individual.

Por indisponibilidade de informação ao nível do VAB das cidades procedeu-se à construção do VAB para as duas cidades a nível setorial. Partindo do VAB das áreas metropolitanas por setor de atividade (deflacionados segundo a base de dados do Banco de Portugal) e da extração de dados da população empregue por setor de atividade no INE no período disponível, 2001, 2011 e 2021, calculamos o VAB de Lisboa e Porto utilizando a fórmula seguinte:

Equação 1

$$VAB_{\text{setor x, cidade}} = \frac{\text{População empregue}_{\text{cidade no setor x}}}{\text{População empregue}_{\text{AM no setor X}}} \times VAB_{\text{AM}}$$

Ora, tendo informação do VAB apenas para os 3 anos referidos e separação por subsetor de atividade de 2002 e 2008 a 2023, procedeu-se à investigação do modelo LMDI de 2002-2011 e 2011-2021.

3.2 Modelo LMDI

A análise de Decomposição de Índices (IDA) pode ser realizada através de diversas técnicas e métodos (O'Mahony, Zhou, & Sweeney, 2012), entre as quais se destacam o LMDI *I e II*, o método de Laspeyres, o índice de Paasche e o índice Ideal de Fischer (Wang et al., 2015). De entre estas metodologias, o LMDI I é a mais consensual entre os estudos de economia da energia e foi, por isso, a adotada na presente tese. A sua escolha fundamenta-se em várias vantagens: a simplicidade de interpretação, a flexibilidade para agregar subsectores, a capacidade de realizar uma decomposição perfeita (sem deixar um termo residual) e a sua formulação tanto em termos aditivos como multiplicativos. Contudo, o método LMDI apresenta algumas limitações que devem ser consideradas. Uma das principais reside no facto de o método não estar definido para valores nulos ou negativos nos dados. No entanto, dado que o conjunto de dados utilizado neste trabalho não contém tais valores, esta particularidade não constituiu um impedimento para a prossecução da análise (Ang, 2005).

3.3 Metodologia de Aplicação do Método LMDI

Como ponto de partida para compreender melhor este método, é importante considerarmos a fórmula de análise matemática de decomposição abaixo, em que V simboliza um agregado energético. Esta parte do pressuposto de que existem n fatores diferentes que contribuem para as alterações em V ao longo do tempo, estando, portanto, cada um destes n fatores associados a uma de n variáveis quantificáveis.

Equação 2

$$V = \sum V_i = \sum x_{1,i} x_{2,i} \dots x_{n,i}$$

Alterações agregadas ente o momento inicial (V^0) e uma data T :

Equação 3

$$V^{\{0\}} = \sum_i x_{1,i}^0 x_{2,i}^0 \dots x_{n,i}^0$$

Equação 4

$$V^{\{T\}} = \sum_i x_{1,i}^T x_{2,i}^T \dots x_{n,i}^T$$

Numa decomposição “aditiva”

$$\Delta V_{tot} = V^T - V^0 = \Delta V_{x1} + \Delta V_{x2} + \dots + \Delta V_{xn}$$

A análise das alterações nas emissões de CO_2 em setores industriais específicos, como transportes, agricultura, serviços e famílias, pode ser quantificada através da investigação de quatro fatores determinantes. Estes fatores são: o efeito da atividade (atividade industrial global), o efeito da estrutura (combinação de atividades industriais), o efeito da intensidade energética (intensidade energética setorial) e o efeito do fator de emissão (fatores de intensidade das emissões de CO_2). Utilizando a identidade IDA, calcula-se a variação das emissões de CO_2 , que correspondem ao produto destes quatro fatores. Tendo por base a equação 1 a IDA pode ser reformulada como:

Equação 5:

$$C = \sum_i C_i = \sum_i Q \frac{(Q_i E_i C_i)}{Q Q_i E_i} \sum_i Q S_i I_i U_i$$

Nesta fórmula, C equivale às emissões totais de CO_2 , enquanto C_i corresponde às emissões de CO_2 do setor industrial específico i . A atividade industrial total é designada por

Q. A participação de cada setor na atividade total (Q_i/Q) é representada por S_i . A intensidade energética do setor i , calculada como E_i/Q_i , é identificada como I_i . Por fim, U_i é o fator de emissão de CO_2 do setor i , que se obtém através da relação C_i/E_i . A metodologia para a decomposição aditiva, utilizando a técnica LMDI, é apresentada na seguinte fórmula:

Equação 6:

$$\Delta C_{tot} = C^T - C^0 = \Delta C_{act} + \Delta C_{str} + \Delta C_{int} + \Delta C_{emf}$$

A variação nas emissões totais de CO_2 , entre um ano inicial (0) e um ano final (T), pode ser decomposta em quatro fatores principais: o efeito da atividade económica (ΔC_{act}), o efeito da estrutura económica (ΔC_{str}), o efeito da intensidade energética (ΔC_{int}) e o efeito da intensidade de carbono do cabaz energético (ΔC_{emf}).

O efeito da atividade (ΔC_{act}) mede como as mudanças no nível geral da economia (PIB) impactam as emissões. O efeito estrutural (ΔC_{str}) reflete as alterações nas emissões causadas pela variação do peso de cada setor na produção total. O efeito da intensidade energética (ΔC_{int}) avalia a contribuição da eficiência energética setorial, que por sua vez indica o progresso tecnológico (quanto maior a intensidade, menor o avanço). Por fim, o efeito da intensidade de carbono (ΔC_{emf}) quantifica o impacto das mudanças na composição do mix de fontes de energia. O cálculo de cada um destes fatores é realizado conforme as fórmulas da Equação 6.

Equação 7:

$$\begin{aligned}\Delta C_{act} &= \sum_i \frac{C_i^T - C_i^0}{\ln C_i^T - \ln C_i^0} \ln \left(\frac{Q^T}{Q^0} \right) \\ \Delta C_{str} &= \sum_i \frac{(C_i^T - C_i^0)}{\ln C_i^T - \ln C_i^0} \ln \left(\frac{S_i^T}{S_i^0} \right) \\ \Delta C_{int} &= \sum_i \frac{C_i^T - C_i^0}{\ln C_i^T - \ln C_i^0} \ln \left(\frac{I_i^T}{I_i^0} \right) \\ \Delta C_{emf} &= \sum_i \frac{(C_i^T - C_i^0)}{\ln C_i^T - \ln C_i^0} \ln \left(\frac{U_i^T}{U_i^0} \right)\end{aligned}$$

(Ang, 2005).

3.4 Explicação das Componentes da Decomposição

Nesta parte do documento, detalham-se os fatores considerados na análise de decomposição LMDI: atividade, intensidade de emissões de CO₂ (associada à matriz de combustíveis), alterações estruturais e avanços tecnológicos.

3.4.1 Efeito de Produção (Output)

No âmbito da análise de decomposição, o efeito da atividade económica é um componente utilizado para examinar a influência das oscilações na procura sobre o nível de emissões de CO₂. A sua quantificação, baseada no valor acrescentado de todos os setores, permite analisar o fenómeno em termos relativos, tanto ao nível de cada setor como no agregado da economia. Embora a limitação da atividade económica se afigure como uma estratégia para a redução de emissões, tal intervenção é excecionalmente aplicada, dado o

seu considerável impacto adverso no crescimento económico. Em detrimento dessa abordagem, tem-se privilegiado a implementação de avanços tecnológicos. Importa, contudo, salientar que a procura exibe elasticidade-preço, o que implica que uma retração na procura por um produto específico resultará, correspondentemente, numa diminuição do seu nível de produção.

3.4.2 Efeito na Estrutura

As alterações na intensidade energética — a energia consumida por unidade de PIB (€) — são impulsionadas por dois fatores, um dos quais é o efeito estrutural. Este efeito capta o impacto das mudanças na composição setorial da economia, quantificando como a realocação da produção entre diferentes setores (por exemplo, de uma economia industrial para uma de serviços) influencia o consumo agregado de energia

3.4.3 Efeito Tecnológico

O progresso tecnológico é uma componente-chave que explica as variações na intensidade energética, operando ao nível intrasetorial. A mudança dentro de um setor é alcançada através de vias como a renovação do stock de capital, que implica a substituição de tecnologias mais antigas por novas, e inovações que melhoram a eficiência dos processos. Contribuições adicionais advêm da substituição intercombustível em direção a fontes com maior eficiência. Estes avanços melhoram, em última análise, a produtividade energética, o que significa que o rácio entre a produção (output) e o consumo de energia (input) aumenta. Por outras palavras, um setor pode manter a sua produção enquanto diminui o consumo de energia, ou expandir a sua produção com um uso de energia estático. Como tal, uma diminuição na intensidade energética correlaciona-se diretamente com um aumento da eficiência energética. Contudo, o impacto líquido destes fatores tecnológicos pode também estar dependente dos padrões de uso de energia em setores nem sempre capturados pelos dados económicos formais, nomeadamente o setor residencial (agregados familiares) e o setor informal.

3.4.4 Efeito de Substituição de Combustível

A variação da intensidade de emissões (CO₂) de um sistema energético pode ser, em parte, atribuída ao efeito de substituição de combustível. Este fenómeno descreve as alterações que ocorrem quando a estrutura do *mix* energético é modificada, substituindo-se combustíveis por outros com fatores de emissão de CO₂ por unidade de energia (TJ) diferentes. Por exemplo, uma alteração que atenua o nível de emissões de CO₂ é a substituição do carvão por gás natural na geração de eletricidade. Inversamente, a transição de gás natural para carvão representaria um efeito que agravaria as emissões. Tal como os avanços tecnológicos que promovem a eficiência energética, a substituição de combustíveis é um mecanismo fundamental para a descarbonização, sendo que uma redução na intensidade das emissões reflete uma melhoria na sua performance ambiental.

4. A Trajetória de Lisboa

Este capítulo reconstrói e analisa criticamente a trajetória de quase três décadas de Lisboa no domínio da política climática e da transição energética. Através de um enquadramento analítico estruturado com base nas três fases políticas atrás identificadas, o estudo examina a evolução da cidade desde uma consciencialização ambiental incipiente até à recente aceleração em direção à neutralidade climática. O objetivo é dissecar a complexa interação entre o desenvolvimento de quadros institucionais, a formulação de políticas públicas, as transformações socioeconómicas e os resultados quantificáveis em termos de consumo de energia e emissões de gases com efeito de estufa (GEE).

A abordagem metodológica inicia-se com uma análise do contexto da Área Metropolitana de Lisboa (AML) para enquadrar as dinâmicas regionais que influenciam o município. De seguida vamos analisar se a jornada de descarbonização de Lisboa foi ou não linear, caracterizá-la no decorrer do seu longo período de maturação e construção de capacidade institucional, impulsos políticos europeus e ambição local. A primeira fase (1995-2007) é marcada pela génese da consciência ambiental, onde, apesar do discurso global, a

ação prática foi limitada e as emissões cresceram a par do desenvolvimento económico. A segunda fase (2008-2015) representa um ponto de viragem, com a institucionalização do planeamento energético e a adoção das primeiras metas quantificadas, resultando nos primeiros sinais de desacoplamento entre o crescimento económico e as emissões. A terceira e mais recente fase (2016-2023) é definida por uma escalada exponencial da ambição política, culminando no compromisso de atingir a neutralidade climática até 2030.

Para substanciar esta narrativa, o capítulo integra uma análise quantitativa aprofundada de um conjunto de dados que abrange o consumo de energia final, as emissões de CO₂, a atividade económica setorial, a demografia e a dinâmica do turismo. O ponto central desta análise quantitativa é a aplicação do método de decomposição do LMDI, que permite desagregar as variações nas emissões de CO₂. Esta aplicação será feita em 2 momentos. Em Lisboa inicia em 2002 através da informação presente na matriz energética e entre 2011 e 2021 com dados retirados da DGEG. No Porto parte de 2004 extraindo os valores presentes e prossegue do mesmo modo supra. Através deste modelo percebemos os seus fatores motrizes, como o efeito da estrutura económica, o efeito da intensidade energética e o efeito do fator de emissão. Desta forma, o capítulo procura não apenas descrever o que mudou, mas também explicar porquê, oferecendo uma avaliação baseada em evidências dos sucessos e dos desafios persistentes que moldam o futuro da transição energética de Lisboa.

4.1. O Contexto Metropolitano

A ação climática de Lisboa não pode ser dissociada do seu contexto metropolitano. A Área Metropolitana de Lisboa (AML), que engloba 18 municípios, funciona como um sistema socioeconómico e territorial interligado, onde as políticas de um município influenciam e são influenciadas pelos restantes. A trajetória económica da AML, impulsionada por um Valor Adicionado Bruto (VAB) que cresceu de aproximadamente 32 mil milhões de euros em 1995 para 87 mil milhões em 2022, constitui o principal motor da procura de energia na região.

A governação climática a esta escala ganhou particular relevo com o Plano Metropolitano de Adaptação às Alterações Climáticas (PMAAC-AML) (Área Metropolitana de Lisboa, 2023), focado na redução da vulnerabilidade a riscos como ondas de calor, secas e inundações. As principais descobertas deste relatório revelam precisamente que a Área Metropolitana de Lisboa enfrenta uma aceleração não-linear do risco climático, tornando a inação inviável. O diagnóstico quantifica ameaças territoriais em expansão como o risco de incêndio poderá mais do que duplicar (afetando 33% da AML) e os perigos costeiros (recuo de arribas e galgamentos) que poderão quase triplicar. O plano identifica um paradoxo hídrico (secas mais severas combinadas com chuvas mais intensas) e uma convergência de vulnerabilidades, onde o calor extremo é agravado pelo envelhecimento da população e pelo efeito de ilha de calor urbana. Consequentemente, a estratégia de resposta, focada na justiça social e territorial, exige uma triagem de ações que vão desde a proteção de infraestruturas à transformação de setores como a agricultura, e incluem a necessidade drástica de recuo planeado e retirada imediata de edifícios nas zonas costeiras mais ameaçadas. Este esforço de cooperação intermunicipal foi complementado pela criação do projeto CLIMA.AML, uma rede de monitorização meteorológica para apoiar o planeamento. No setor da mobilidade, a criação da Transportes Metropolitanos de Lisboa (TML) foi um passo crucial, unificando a gestão do transporte público para promover uma rede integrada e mais sustentável, essencial para a descarbonização à escala metropolitana.

A análise comparativa da evolução das emissões de CO₂ revela trajetórias de descarbonização distintas entre Lisboa e a sua área metropolitana. Entre 1995 e 2023, Lisboa conseguiu uma redução de 35,77% nas suas emissões totais, passando de 1931,18 KtCO₂ para 1241,63 KtCO₂, com nuances no seu trajeto que iremos estudar mais adiante. No mesmo período, o consumo de gasolinas na cidade caiu 71,59% e o de gasóleos 23,55%. Por seu turno, a AML, obteve valores ainda mais expressivos reduzindo as suas emissões em 43,31% e apesar de também ter reduzido o consumo de gasolinas (-50,8%), registou um aumento de 39,34% no consumo de gasóleos entre 1995 e 2023, sugerindo que o crescimento económico metropolitano, particularmente nos setores da logística e transportes, superou os ganhos de eficiência (ver figuras 2 e 3).

A dinâmica populacional também é divergente, enquanto a população residente de Lisboa diminuiu 6,3% entre 1995 e 2023 atingindo um decréscimo máximo em 2013 de aproximadamente 10,5% relativamente a 1995, a da AML cresceu 12,6%, num claro processo de suburbanização (figura 1). No entanto, a análise da população empregada mostra que Lisboa manteve a sua centralidade económica, concentrando cerca de 20% do emprego metropolitano de forma consistente. Este facto sublinha o papel da cidade como o principal polo de atração de movimentos pendulares diários, um fator crucial para os padrões de mobilidade e consumo de energia.

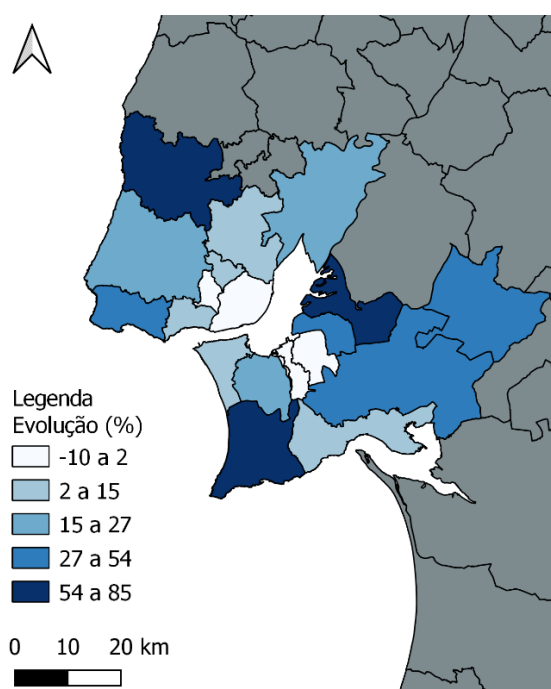


Figura 1 - Taxa de Crescimento da População (1995-2023). Fonte: Elaboração própria

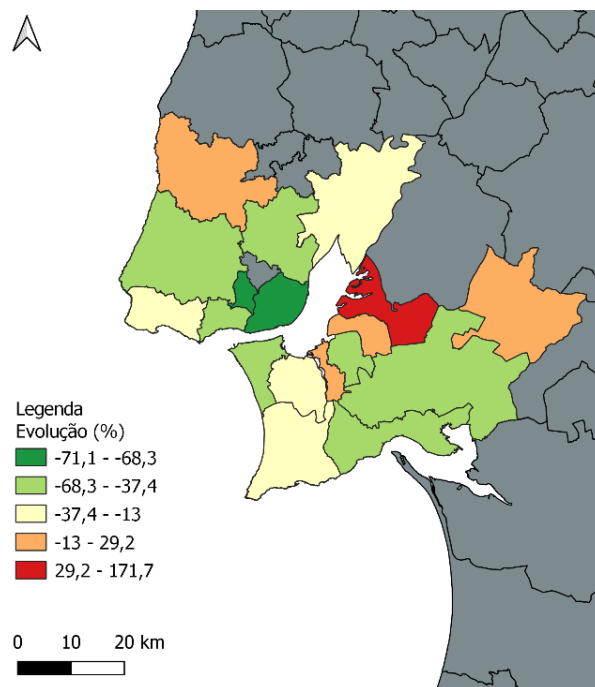


Figura 2 - Taxa de Crescimento do Consumo de Gasolina (1995-2023). Fonte: Elaboração própria

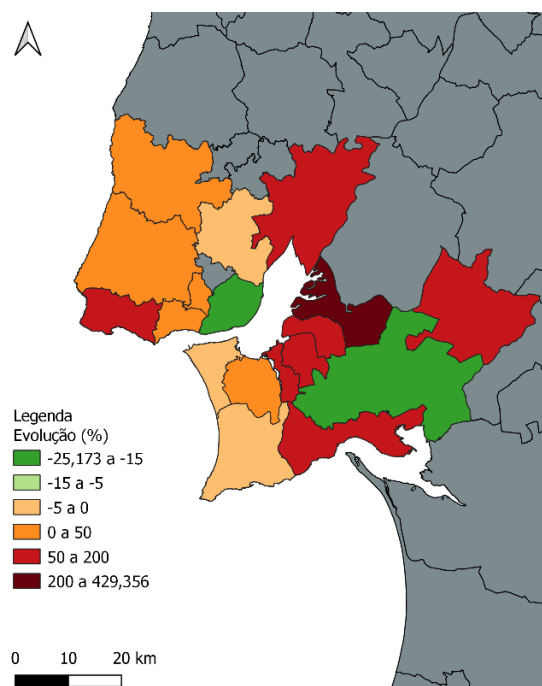


Figura 3 - Taxa de Crescimento do Consumo de Gasóleo (1995-2023). Fonte: Elaboração própria

A magnitude deste desafio de mobilidade, no início do período em análise, é quantificada de forma contundente pelo Plano de Mobilidade de Lisboa de 2005, que reportava a realização diária de aproximadamente de 2.3 milhões de deslocações “com pelo menos um extremo dentro do seu perímetro” (Câmara Municipal de Lisboa, 2005). Este volume massivo de deslocações reflete a intensidade do metabolismo urbano e a pressão sobre as infraestruturas existentes. O mesmo plano evidenciava a crescente dependência do transporte individual, corroborada pela evolução do consumo de combustível na AML e por uma taxa de motorização em Lisboa que, já em 2002, atingia o valor expressivo de 672 veículos por 1.000 habitantes. (Câmara Municipal de Lisboa, 2005)

Esta aparente contradição — uma cidade que perde população residente, mas que atrai cada vez mais viagens motorizadas — revela uma tensão estrutural fundamental entre a centralidade económica de Lisboa e a dispersão residencial na sua área metropolitana. A suburbanização não foi acompanhada por uma descentralização equivalente do emprego de alto valor, criando uma necessidade estrutural de deslocação diária em massa para o núcleo urbano. Na ausência de alternativas de transporte público metropolitano que fossem suficientemente competitivas, uma lacuna diagnosticada pelo próprio Plano de Mobilidade, o transporte individual tornou-se a solução por defeito para uma crescente população pendular. Consequentemente, a própria estrutura socioeconómica da AML no início do século XXI gerou um efeito de lock-in de emissões de carbono no setor dos transportes. A descarbonização tornou-se, assim, não apenas um desafio tecnológico ou de política municipal, mas um profundo desafio de ordenamento do território à escala metropolitana. As políticas de mobilidade de Lisboa, mesmo que eficazes dentro dos seus limites administrativos, estariam sempre a lutar contra uma maré crescente de tráfego gerado externamente (Ferrão & Cunha, 2023).

4.2. Fase I (1995-2007): A Génese da Consciência Ambiental

O período inicial da política climática em Lisboa foi fundamentalmente uma era de construção de alicerces, marcada por uma consciencialização gradual e pela criação de estruturas institucionais pioneiras. No entanto, a implementação prática de medidas de

descarbonização foi ainda incipiente, e a trajetória energética e de emissões da cidade refletiu um modelo de desenvolvimento onde as preocupações ambientais eram secundárias face às prioridades económicas.

4.2.1. Contexto Político e Institucional: Primeiros Passos num Cenário de Crescimento

O ponto de partida, em 1995, insere-se no contexto nacional pós-adesão de Portugal à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (UNFCCC). A prioridade nacional e municipal era, inequivocamente, o desenvolvimento económico, com projeções que indicavam um crescimento contínuo e desimpedido das emissões de GEE. A nível nacional, o enquadramento foi estabelecido pelo Plano Nacional de Política do Ambiente (PNPA) de 1995 e pelo reconhecimento constitucional do direito a um ambiente sadio.

Neste cenário, os primeiros instrumentos de política de sustentabilidade que emergiram no discurso global, como a Agenda 21 Local, um apelo da Cimeira da Terra de 1992 para que as autoridades locais desenvolvessem planos de desenvolvimento sustentável com ampla participação pública, tiveram uma materialização notoriamente lenta em Lisboa. Foram necessários mais de 10 anos para que os processos formais da Agenda 21 começassem a ser efetivamente trabalhados na cidade, um atraso considerável em comparação com muitas outras capitais europeias. Este compasso de espera inicial sugere que, apesar do discurso, a sustentabilidade integrada ainda não era uma prioridade central na agenda política municipal (Fidélis & Pires, 2009). A nível do planeamento territorial, o Plano Diretor Municipal (PDM) de 1994 foi o instrumento-chave desta era, embora não fosse um plano climático, foi fundamental para ordenar a expansão da cidade e introduziu conceitos como a proteção da estrutura ecológica urbana (Conselho de Ministros, 1994).

O final da década de 1990 marcou uma evolução significativa na abordagem de Lisboa à governação ambiental, progredindo para além de estruturas anteriores como a AMERLIS. Um desenvolvimento fundamental foi a constituição da Lisboa E-Nova, uma associação privada sem fins lucrativos tendo o Município de Lisboa como parceiro principal

(Lisboa E-Nova, 2008b). Concebida como um catalisador para o desenvolvimento sustentável e a transição energética, a primeira década da agência foi definida pelo seu papel como um ator epistémico, construindo sistematicamente a base de conhecimento da cidade através de estudos fundacionais como a Matriz Energética e a Matriz dos Materiais (Ferrão, Rosado, Niza, & IST/IN., 2004). Este trabalho fundamental constituiu um passo decisivo na institucionalização da gestão da energia como uma competência municipal. Culminou com a autoria, por parte da agência, da marcante Estratégia Energético-Ambiental para Lisboa, que foi formalmente adotada pela cidade em 2008, estabelecendo um novo rumo para a política ambiental integrada na capital (Lisboa E-Nova, 2008a).

Um marco significativo em 2005 foi a publicação da Matriz Energética de Lisboa, um relatório técnico detalhado com dados de referência de 2002. Este documento não foi um mero exercício académico, mas sim a criação da primeira linha de base de dados quantitativa sobre o metabolismo energético da cidade, com o objetivo pragmático de servir como ferramenta para executar o seu plano de sustentabilidade e lançar o processo Agenda 21 Local. Paralelamente, a cidade enfrentava graves problemas de mobilidade que tinham um impacto negativo na qualidade de vida dos Lisboetas, no ambiente e no desenvolvimento económico da Cidade. A resposta a este desafio foi o Plano de Mobilidade de Lisboa (Câmara Municipal de Lisboa, 2005).

4.2.2. Análise Quantitativa do Período: Tendências de Emissões-Crescimento Económico

Ao analisar os dados quantitativos no período entre 1995 e 2007 constatamos que se trata do início do fim de uma forte dissociação entre a atividade económica e as pressões ambientais que atinge o seu máximo em 2001. O Consumo Final de Energia (CFE) em Lisboa, embora volátil, apresentou uma tendência geral de crescimento, partindo de 35144 TJ em 1995, atingindo um pico histórico de 58792 TJ em 2001, e terminando o período em 30810 TJ em 2007. Esta trajetória, especialmente o pico no início do século, reflete os ciclos económicos e uma falta de políticas eficazes de gestão da procura de energia.

O gráfico mostra um crescimento acentuado das emissões per capita de 1995 (3.2 t/capita) até ao pico em 2001 (6.2 t/capita). Este crescimento, ao decorrer enquanto assistimos a um sistemático declínio da população residente (de aproximadamente 605 mil em 1995 para 563 mil em 2001), demonstra que, durante este período, o aumento do consumo e da atividade económica por pessoa superou largamente quaisquer ganhos de eficiência.

Contudo, após 2001, a tendência inverteu-se e as emissões recuaram paulatinamente, bem como a população que continuou a diminuir. O valor em 2007 (2.33 t/capita) terminou, na verdade, como o ponto mais baixo de toda a série, situando-se claramente abaixo do ponto de partida de 1995 (figura 4).

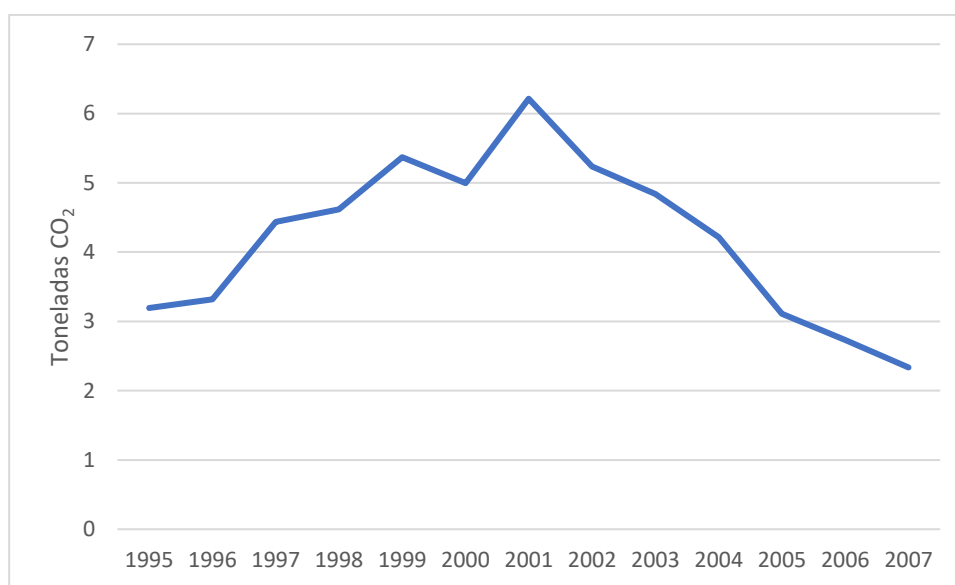


Figura 4 - Evolução das Emissões de CO₂ Per Capita expresso em toneladas de CO₂ (1995-2007). Fonte: autor com base na informação recolhida no INE e DGEG

O perfil energético da cidade durante esta fase era esmagadoramente dominado por combustíveis fósseis. A análise detalhada do consumo revela uma elevada dependência de gasolinas e gasóleos, que, em conjunto, representavam a maior fatia do CFE. Em 1995, o consumo de gasolinas e gasóleos totalizava aproximadamente 23150 TJ, constituindo cerca de 66% do consumo final de energia da cidade. O consumo de eletricidade também registou

um aumento constante e significativo, passando de 8050 TJ em 1995 para 12059 TJ em 2007, um crescimento de quase 50% que reflete a crescente eletrificação da economia e dos edifícios, mas com uma matriz de produção a nível nacional ainda intensiva em carbono (figura 5).

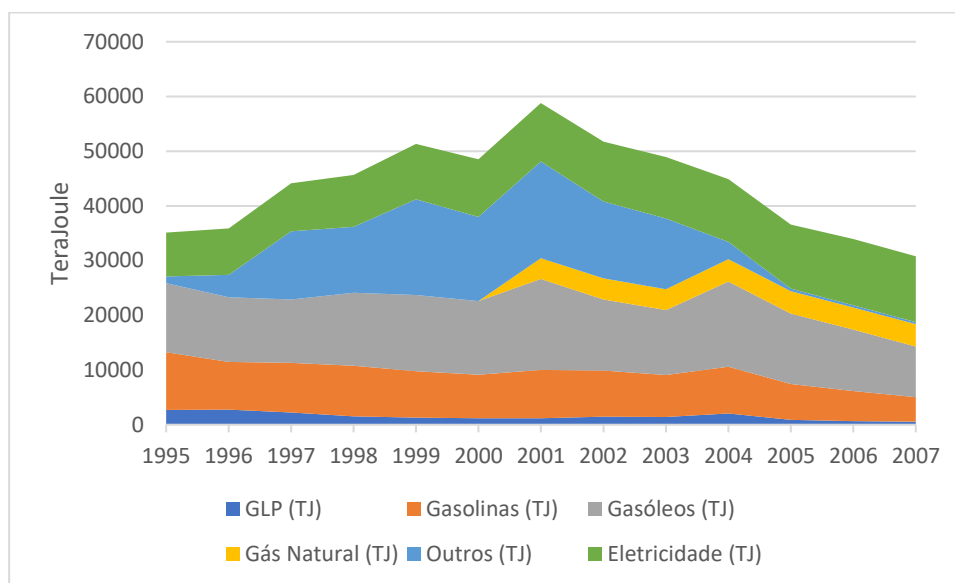


Figura 5 - Evolução do Consumo de Energia expresso em TJ (1995-2007). Fonte: autor com base na informação recolhida na DGEG

4.3. Fase II (2008-2015): Institucionalização e Planeamento Energético

A segunda fase da trajetória de descarbonização de Lisboa representa um ponto de viragem fundamental. Impulsionada por um novo enquadramento político a nível europeu, a cidade transitou de uma consciência ambiental difusa para a institucionalização formal do planeamento energético e climático. Este período foi marcado pela adoção das primeiras metas quantificadas e pela implementação de um plano de ação estruturado, cujos efeitos começaram a manifestar-se nos indicadores de energia e emissões, assinalando os primeiros sinais de um desacoplamento entre o crescimento económico e o impacte ambiental.

4.3.1. Contexto Político e Institucional: A Influência Europeia e a Formalização de Metas

O principal catalisador desta mudança foi o enquadramento europeu, nomeadamente o primeiro Pacote Clima-Energia da União Europeia e o lançamento do Pacto de Autarcas. Em 2008, a Câmara Municipal de Lisboa deu um passo decisivo ao aprovar a Estratégia Energético-Ambiental para Lisboa, um documento elaborado pela Lisboa E-Nova que definiu metas para o horizonte 2009-2013 e representou o primeiro esforço concertado para definir uma visão e metas para a sustentabilidade energética da cidade (Lisboa E-Nova, 2008a).

Este documento serviu de base para a adesão formal de Lisboa ao Pacto de Autarcas em 2009. Este compromisso voluntário, mas de elevado perfil, implicava a obrigação de elaborar um plano de ação detalhado e submetê-lo à Comissão Europeia para monitorização. A adesão ao Pacto integrou Lisboa numa rede europeia de cidades pioneiras na ação climática, promovendo a adoção de uma metodologia de planeamento e monitorização standardizada.

O compromisso materializou-se no Plano de Ação para a Energia Sustentável e Clima (PAES), aprovado em 2012. O PAES foi o primeiro instrumento de planeamento climático formal da cidade e estabeleceu uma meta clara, quantificável e ambiciosa para a época, uma redução de 20% das emissões de CO₂ até 2020, tendo 2002 como ano de referência. O plano focava-se essencialmente na mitigação, com medidas centradas na melhoria da eficiência energética nos setores dos edifícios e dos transportes, e na promoção de fontes de energia renováveis. Este planeamento foi complementado por instrumentos de ordenamento do território, como a revisão do PDM de 2012, que foi o primeiro a integrar as alterações climáticas como uma política urbanística fundamental, consolidando a visão de uma infraestrutura verde para a cidade. Paralelamente, a cidade começou a desenvolver as suas primeiras políticas de adaptação com a Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas (EMAAC), focada na resiliência a riscos como ondas de calor e precipitação intensa. Durante este período, a Lisboa E-Nova consolidou o seu papel como o braço técnico da política energética da cidade, liderando a elaboração do PAES e a implementação de diversos projetos setoriais (Fernandes, 2018).

Posteriormente, em 2014, no âmbito do Mayors Adapt, o município aprofundou o seu compromisso ao obrigar-se a desenvolver uma estratégia de adaptação local abrangente, integrando-a nos planos existentes. Este passo assinalou uma maturação da política climática da cidade, evoluindo de um foco singular na mitigação para uma abordagem integrada que também considerava a resiliência aos impactes climáticos (Fernandes, 2018).

4.3.2. Análise Quantitativa do Período: Primeiros Sinais de Desacoplamento

A formalização do planeamento e a definição de metas coincidiram com o início de uma tendência sustentada de redução de emissões, sugerindo a eficácia da nova abordagem política. As emissões de CO₂ per capita registaram uma queda notável e consistente, diminuindo de 2,75 toneladas por habitante em 2008 para 1,89 toneladas em 2015, uma redução de mais de 31% em sete anos. Esta tendência foi acompanhada por uma contração do Consumo Final de Energia, que passou de 33734TJ para 26056TJ no mesmo período, indicando progressos na eficiência energética global da cidade.

O aspeto mais significativo deste período é que esta redução das emissões ocorreu num contexto de recuperação e crescimento económico, particularmente no setor dos serviços, impulsionado pelo turismo. Os dados do INE de dormidas em estabelecimentos hoteleiros, um importante indicador da atividade turística, mostram um aumento acentuado a partir do início deste período, passando de 5,9 milhões em 2008 para 10 milhões em 2015, um crescimento de 69,5% (figura 6). O facto de as emissões terem diminuído enquanto a principal atividade económica da cidade crescia representa a primeira evidência clara de um desacoplamento relativo na história de Lisboa.

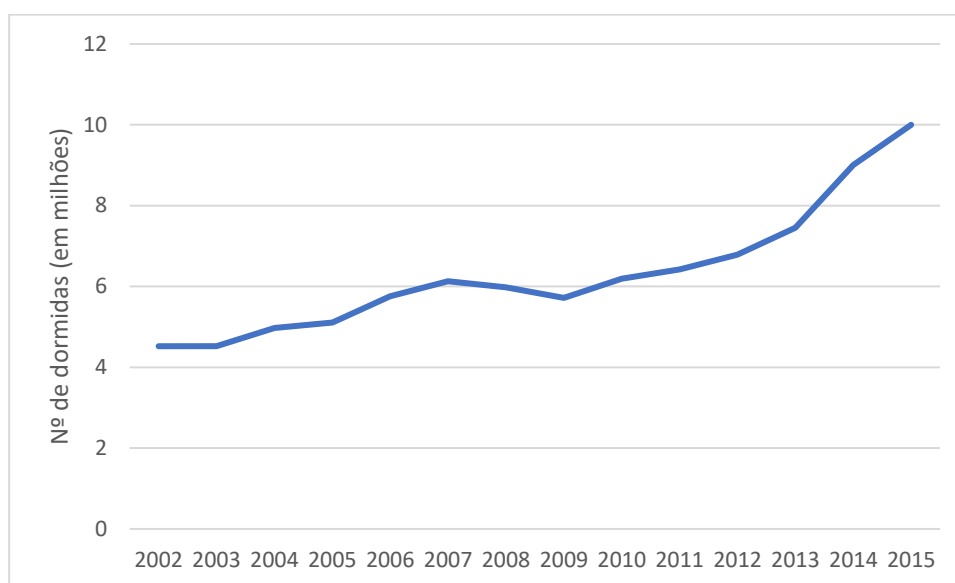


Figura 6- Evolução do nº de dormidas em estabelecimentos hoteleiros (2002-2015), Fonte: autor com base na informação recolhida no INE.

A análise do mix energético revela algumas das causas subjacentes a este desempenho. O consumo de gasolinas e gasóleos, principais alvos das políticas de mobilidade do PAES, registou uma diminuição significativa. O consumo de gasolinas caiu de 4151 TJ em 2008 para 2510 TJ em 2015, enquanto o consumo de gasóleos (agregado) diminuiu de 11392 TJ para 7795 TJ (figura 7). Em contrapartida, o consumo de eletricidade manteve-se elevado e relativamente estável, refletindo a crescente importância do setor de serviços. O gás natural, introduzido no início da década, consolidou a sua presença no balanço energético da cidade, contribuindo para a substituição de combustíveis mais poluentes, nomeadamente nos edifícios.

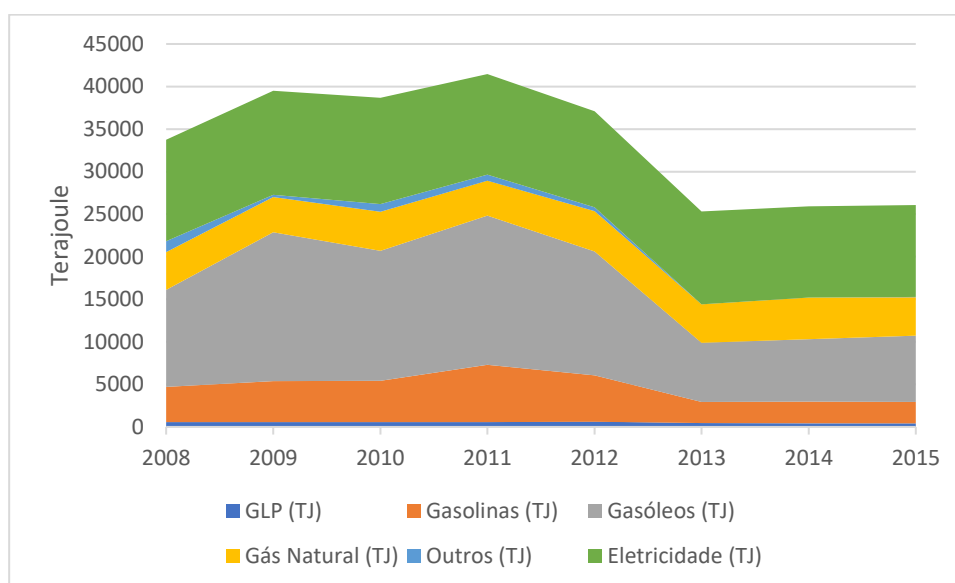


Figura 7 - Evolução do Consumo de Energia expresso em TJ (2008-2015). Fonte: autor com base na informação recolhida na DGE

4.4. Fase III (2016-2023): Aceleração para a Neutralidade Climática

A fase mais recente da jornada de descarbonização de Lisboa é marcada por um aumento significativo da ambição política, uma aceleração impulsionada por novos compromissos internacionais, pela crescente urgência da crise climática e pela integração da cidade em redes globais de liderança climática. Este período viu a transição de um foco nas metas de mitigação percentual para um objetivo final de neutralidade carbónica, exigindo uma abordagem mais holística e transformadora.

4.4.1. Contexto Político e Institucional: Aumento Exponencial da Ambição

O ano de 2016 assinalou o início de uma nova era com a adesão de Lisboa ao novo e mais ambicioso Pacto dos Autarcas para o Clima e Energia. Este novo compromisso não só elevou a meta de redução de emissões para pelo menos 40% até 2030, como também integrou formalmente a componente de adaptação às alterações climáticas no planeamento

municipal, reconhecendo a necessidade de preparar a cidade para os impactos inevitáveis do clima (Fernandes, 2018).

A projeção internacional de Lisboa como uma cidade líder na ação climática foi reforçada pela sua adesão à prestigiosa rede C40 Cities em 2019, alinhando a cidade de forma explícita com os objetivos do Acordo de Paris (Davidson, Coenen, & Gleeson, 2019). A conquista do galardão de Capital Verde Europeia 2020 funcionou como um poderoso catalisador, mobilizando a cidade e dando origem ao Compromisso Lisboa Capital Verde Europeia 2020 – Ação Climática Lisboa 2030, que reuniu mais de 200 entidades em torno de metas concretas (European Commission, 2020). O culminar desta fase de planeamento foi a aprovação, em 2021, do Plano de Ação Climática (PAC) Lisboa 2030. Este plano representa uma evolução qualitativa em relação aos anteriores, adotando uma abordagem integrada que articula mitigação, adaptação e, crucialmente, justiça social, nomeadamente através de uma estratégia dedicada à erradicação da pobreza energética (CML-DMAEVCE et al., 2021).

As metas do PAC Lisboa 2030 são significativamente mais ambiciosas do que qualquer compromisso anterior:

- Meta de Mitigação: Reduzir as emissões de GEE em 70% até 2030, em relação ao ano de referência de 2002.
- Meta de Neutralidade: Atingir a neutralidade carbónica até 2050.

O plano estrutura-se em eixos de atuação que abrangem não só os setores tradicionais dos edifícios e da mobilidade, mas também áreas como o sistema alimentar e a gestão da água, refletindo uma visão mais holística da sustentabilidade urbana. Este plano é complementado por estratégias setoriais específicas, como a Estratégia Solar de Lisboa, que visa instalar 100 MW de capacidade fotovoltaica, e a Estratégia de Combate à Pobreza Energética. Para o setor crítico da mobilidade, a estratégia tornou-se mais robusta com o desenvolvimento do Plano de Mobilidade Urbana Sustentável (PMUS) (CML-DMAEVCE et al., 2021).

Mais recentemente, a seleção de Lisboa como uma das 100 cidades da Missão da UE para Cidades Inteligentes e com Impacto Neutro no Clima veio acelerar ainda mais este processo, desafiando a cidade a atingir a neutralidade climática já em 2030. Este

compromisso está a ser operacionalizado através do desenvolvimento de um Contrato Climático da Cidade, um instrumento inovador que envolve múltiplos stakeholders (públicos, privados e sociedade civil) na definição de um roteiro de investimentos e ações para alcançar este objetivo acelerado (Lisboa E-Nova, 2024).

4.4.2. Análise Quantitativa do Período: Acelerando a Transição em Meio a Desafios

Os dados deste período refletem tanto o impacto das políticas aceleradas como a influência de choques externos, nomeadamente a pandemia de COVID-19. Contudo, registou-se, contracenando com o período anterior e as outras principais energias, um aumento do consumo de gasóleos de 8188 TJ para 9640 TJ, chegando a atingir 10550 TJ em 2021 (figura 8).

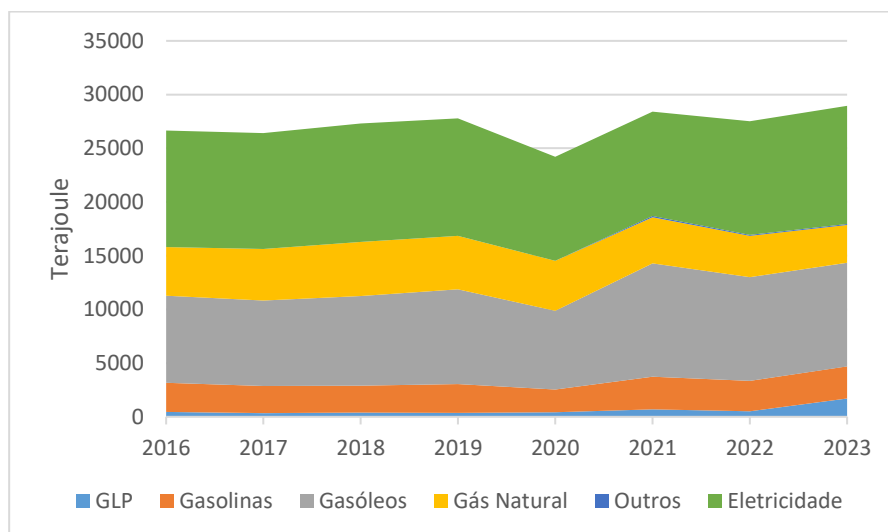


Figura 8 - Evolução do Consumo de Energia expresso em TJ (2016-2023). Fonte: autor com base na informação recolhida na DGEG

Como patente na figura 9 as emissões de CO₂ per capita continuaram a sua trajetória descendente, atingindo 2,19 t/capita em 2023. É notável a queda para 1,80 t/capita em 2020, um valor artificialmente baixo, atribuível às restrições à mobilidade e à atividade económica

durante a pandemia, que serve como um contraponto útil para avaliar a recuperação subsequente. O Consumo Final de Energia também continuou a diminuir, situando-se em 29070 TJ em 2023 (figura 8).

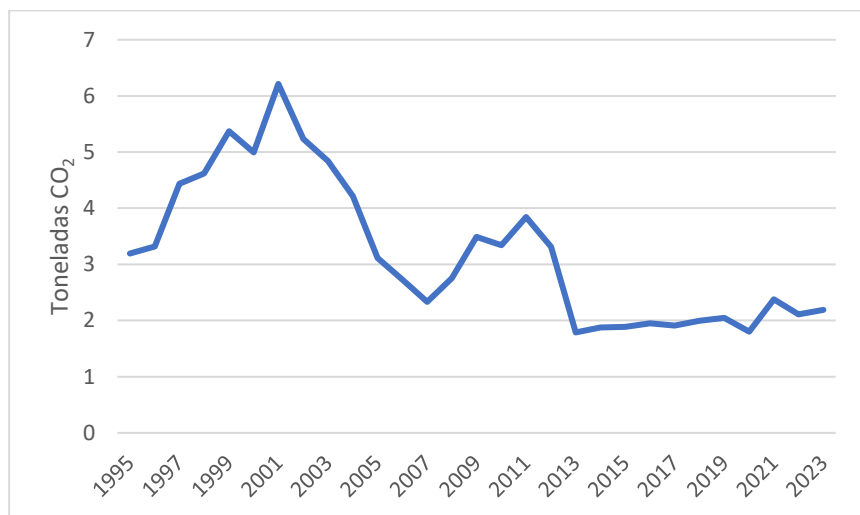


Figura 9 - Evolução das Emissões de CO₂ Per Capita expresso em toneladas de CO₂ (1995-2023). Fonte: autor com base na informação recolhida do INE e DGEG

O setor do turismo, no entanto, demonstrou a sua resiliência e o seu peso crescente na economia e no sistema energético da cidade. Antes da pandemia, o setor registou um crescimento explosivo, com as dormidas a atingirem quase 14 milhões em 2019, mais do dobro do valor de 2009. Após a queda acentuada em 2020 e 2021, a recuperação foi extraordinariamente rápida, com os números de 2023 (15,2 milhões de dormidas) a ultrapassarem os níveis pré-pandémicos. Este padrão de em V sublinha a imensa e crescente pressão que o setor exerce sobre a infraestrutura energética da cidade (ver figura 10).

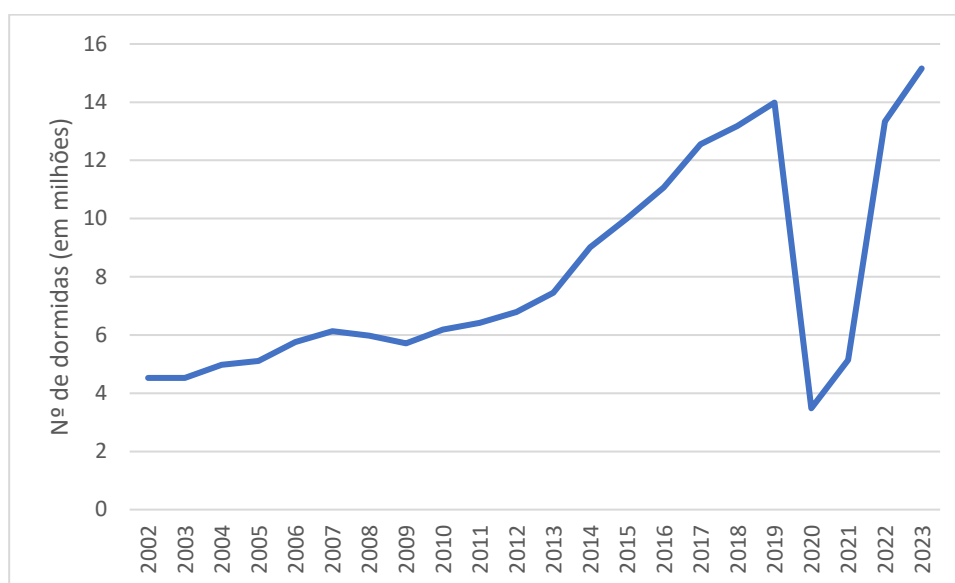


Figura 10 - Evolução do nº de dormidas em estabelecimentos hoteleiros (2002-2023). Fonte: autor com base na informação recolhida no INE

Uma nova e crítica tendência que emerge nesta fase é o crescimento do autoconsumo de energia renovável, um resultado direto de políticas como a Estratégia Solar de Lisboa. Embora os dados de autoconsumo disponibilizados pelo INE apenas estejam disponíveis para os anos de 2022 e 2023 estes revelam um aumento exponencial da produção fotovoltaica. Em 2022 a produção registava 8952 MWh, saltando para 14736 MWh em 2023. Todavia ainda represente uma pequena fração do consumo total da cidade, esta aceleração demonstra um progresso tangível na descentralização e descarbonização do fornecimento de energia a nível local.

4.5. Análise Quantitativa Agregada do Desempenho de Descarbonização (1995-2023)

A análise longitudinal dos dados ao longo de quase três décadas permite uma avaliação abrangente do desempenho de Lisboa, identificando as tendências de longo prazo e os fatores que impulsionaram a sua trajetória de descarbonização. Esta secção sintetiza os

indicadores macroeconómicos e ambientais e aprofunda a análise através da decomposição dos fatores de emissão.

4.5.1. Evolução dos Indicadores Macroeconómicos e Ambientais

A principal conclusão que é possível retirar através da tabela 4 é a evidência de um forte desacoplamento absoluto entre a atividade económica e as emissões de carbono. Os dados mostram que Lisboa conseguiu expandir a sua economia, medida pelo VAB a preços constantes, enquanto reduzia drasticamente as suas emissões totais de CO₂. As emissões caíram de um pico em 2001 para menos de metade desse valor nas medições recentes, apesar de um VAB consideravelmente maior.

Este desacoplamento não é um acaso, é impulsionado por dois fatores sinérgicos identificáveis nos dados de intensidade. O primeiro é um ganho extraordinário de eficiência energética. A Intensidade Energética, que mede a quantidade de energia necessária para produzir uma unidade de VAB, caiu drasticamente. Em 2021, a economia de Lisboa era capaz de gerar a mesma riqueza utilizando menos de um terço da energia que necessitava em 2001. Isto aponta para uma profunda mudança estrutural.

O segundo motor é a descarbonização do próprio fornecimento de energia. A Intensidade Carbónica, que mede quanto CO₂ é emitido por cada unidade de energia consumida, também apresenta uma tendência de queda, isto significa que a energia utilizada em Lisboa é, em média, mais limpa do que há duas décadas, refletindo a entrada de renováveis e a substituição de combustíveis fósseis mais poluentes.

Finalmente, esta melhoria sistémica reflete-se ao nível individual. As emissões de CO₂ per capita foram significativamente reduzidas, mesmo com a população a estabilizar e a recuperar nos últimos anos. Em suma, os dados retratam uma cidade que transitou com sucesso para um modelo de crescimento verde, onde a eficiência e a descarbonização foram os principais vetores da dissociação entre prosperidade económica e impacto climático.

Ano	População Residente	VAB Total (M€, Preços Constantes 2021)	CFE Total (TJ)	Emissões Totais de CO ₂ (kt)	Emissões CO ₂ per capita (t)	Intensidade Energética (TJ/M€ VAB)	Intensidade Carbónica (tCO ₂ /TJ)
1995	605016		35144	1931	3,2		55,0
2001	563149	9791	58792	3499	6,2	6	59,5
2005	555715		36564	1729	3,1		47,3
2011	542589	12611	41463	2086	3,8	3,3	50,3
2015	546920		26056	1034	1,9		39,7
2020	548877		24365	988	1,8		40,6
2021	545143	15761	28549	1298	2,4	1,8	45,5
2022	557519		27668	1176	2,1		42,5
2023	567131		29070	1242	2,2		42,7

Tabela 4 - Indicadores Chave de Desempenho de Lisboa (1995-2023), Fonte: autor com base na informação recolhida do INE, DGEG e Banco de Portugal

4.5.2. Decomposição dos Fatores de Emissão: Análise LMDI (2002-2021)

A análise diacrónica da trajetória de descarbonização de Lisboa entre 2002 e 2021 revela uma evolução estratégica articulada em dois paradigmas de mitigação fundamentalmente distintos. A decomposição quantitativa das emissões de CO₂ através do método LMDI não só valida empiricamente o sucesso da cidade no desacoplamento entre crescimento económico e impacto carbónico, como também elucida a sequência de modelos de governação que o tornaram possível.

A análise foi segmentada em dois períodos decenais distintos e economicamente contrastantes, 2002-2011, uma fase caracterizada por crescimento económico seguido pelo

início da crise financeira global, e 2011-2021, uma década marcada pela crise da dívida soberana, medidas de austeridade e uma subsequente recuperação económica e transição energética acelerada.

O foco deste capítulo cinge-se à apresentação descritiva e exaustiva dos resultados numéricos obtidos através desta decomposição. Os dados aqui apresentados constituem a base quantitativa robusta para a subsequente análise interpretativa das políticas económicas, energéticas e ambientais implementadas em Lisboa ao longo das duas últimas décadas, que será desenvolvida em capítulos posteriores.

No primeiro período em análise, a economia de Lisboa registou uma redução líquida substancial das emissões de CO₂, totalizando -858,94Kt patente na tabela 5. Esta redução ocorreu num contexto de crescimento económico moderado, mas contínuo, até à crise financeira de 2008, que marcou o final do período.

O efeito atividade constituiu a única força motriz com um impacto positivo sobre as emissões, contribuindo com um aumento de 692,95 KtCO₂. Este valor reflete o impacto do crescimento do VAB total, que passou de aproximadamente 9,7 mil milhões para 12,6 mil milhões de euros neste período, impulsionando o consumo de energia e, consequentemente, as emissões associadas.

Contudo, esta pressão expansionista foi mais do que neutralizada pela ação combinada de três forças mitigadoras. O efeito intensidade emergiu como o principal vetor de redução, contribuindo com -765,86 KtCO₂. Este valor indica melhorias significativas na eficiência energética da economia, significando que foi necessária menos energia para gerar cada unidade de valor económico.

Seguiram-se, com magnitudes semelhantes, o efeito do fator de emissão e o efeito estrutura, com contribuições de -394,14 KtCO₂ e -391,90 KtCO₂, respetivamente. O efeito do fator de emissão reflete uma descarbonização notável do mix energético, em grande parte impulsionada pela forte aposta política na expansão das energias renováveis, particularmente a eólica, que viu um crescimento exponencial neste período a uma escala nacional. O efeito estrutura negativo sinaliza uma alteração na composição da economia de Lisboa, com uma transição para setores de atividade com menor intensidade carbónica.

A análise agregada para esta década revela, inequivocamente, que a redução total das emissões não foi fruto de um único fator, mas de uma combinação de três efeitos mitigadores (intensidade, fator de emissão e estrutura) que, em conjunto, somaram uma redução de aproximadamente 1551,89 KtCO₂, superando largamente a pressão do crescimento económico.

O segundo período em análise, 2011-2021, caracterizou-se igualmente por uma redução expressiva das emissões, com um total de -801,68 KtCO₂, um valor de magnitude comparável ao da década anterior. Não obstante, a dinâmica subjacente a esta contração foi marcadamente distinta da década anterior, refletindo o profundo impacto da crise da dívida soberana de 2011, o programa de ajustamento económico e a subsequente recuperação.

Período	Variação Real (Creal) (KtCO ₂)	Efeito Atividade (Cact) (KtCO ₂)	Efeito Estrutura (Cstr) (KtCO ₂)	Efeito Intensidade (Cint) (KtCO ₂)	Efeito Fator de Emissão (Cemf) (KtCO ₂)
2002-2011	-858,94	692,95	-391,90	-765,86	-394,14
2011-2021	-801,68	339,28	-258,83	-830,84	-51,30

Tabela 5 - Resultados Agregados LMDI (2002-2021). Fonte: autor com base na informação recolhida da DGE e Banco de Portugal

O efeito atividade contribuiu com um aumento de apenas 339,28 KtCO₂, menos de metade do valor registado no período anterior. Esta redução drástica na pressão do crescimento económico é um reflexo direto da estagnação económica no início da década e de um crescimento mais acelerado a partir de 2018, crescendo entre 2016-2019 aproximadamente 11% e novo abrandamento com a crise no decorrer do COVID-19, com o VAB total a aumentar de 12,6 mil milhões para 15,8 mil milhões de euros.

A mitigação das emissões foi, neste período, esmagadoramente dominada pelo efeito intensidade, que contribuiu com uma redução de -830,84 KtCO₂. Este valor, superior ao do período anterior, posiciona as melhorias na eficiência energética como o principal, e quase

único, motor da descarbonização em Lisboa nesta década. Este resultado está alinhado com políticas a nível nacional e europeu focadas na eficiência energética, mas também municipais como o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) e os Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética 2020 (PNAEE 2020) e o Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC 2030), que serão exploradas no capítulo seguinte.

O efeito estrutura continuou a contribuir para a redução de emissões, com um valor de -258,83 KtCO₂, embora com uma magnitude inferior à da década anterior, indicando que o ritmo da reestruturação económica favorável ao clima abrandou.

A alteração mais notável, no entanto, ocorreu no efeito do fator de emissão, cuja contribuição para a mitigação caiu drasticamente para apenas -51,30 KtCO₂. Este valor, quase uma ordem de magnitude inferior ao do período 2002-2011, sugere uma estagnação ou um abrandamento significativo no ritmo de descarbonização do mix energético agregado.

A análise comparativa entre as duas décadas evidencia uma reconfiguração estrutural no perfil de descarbonização de Lisboa. A primeira década pautou-se por uma mitigação equilibrada, conjugando alterações na estrutura económica, na intensidade energética e na redução da intensidade carbónica da matriz de consumo, fruto de políticas nacionais transversais. Já a segunda década revela uma dinâmica distinta, tendo sido preponderantemente impulsionada por redução da intensidade energética. Em contrapartida, a contribuição da componente de substituição de combustíveis (efeito *mix*) registou uma estagnação a nível agregado. A conjuntura económica de menor crescimento facilitou o cumprimento das metas de redução, mas a análise da decomposição mostra que a dependência de um único fator (eficiência) aumentou consideravelmente.

A análise agregada, por natureza, desvaloriza heterogeneidades setoriais críticas que se revelam essenciais para uma compreensão aprofundada dos mecanismos de variação das emissões. Procede-se, agora, à desagregação dos resultados para o período 2002-2011, com o objetivo de identificar os setores que foram os principais impulsionadores de cada um dos quatro efeitos. A tabela 6 apresenta um panorama detalhado destes resultados.

Sector	Efeito Atividade (Cact) (KtCO ₂)	Efeito Estrutura (Cstr) (KtCO ₂)	Efeito Intensidade (Cint) (KtCO ₂)	Efeito Fator de Emissão (Cemf) (KtCO ₂)
Agricultura	+7,86	-12,72	-49,06	+3,64
Indústria	+35,52	-54,23	-161,65	-82,15
Serviços	+128,26	+39,24	-233,21	-692,63
Transportes	+209,27	-364,20	+154,08	+277,65
Transporte Doméstico	+229,71		-306,90	+342,21
Residencial	+82,32		-169,13	-242,86
Total	+692,94	-391,91	-765,87	-394,14

Tabela 6 - Decomposição das emissões de CO₂ em Lisboa (2002-2011). Fonte: autor com base na informação recolhida da DGEG e Banco de Portugal

O crescimento económico que caracterizou o período traduziu-se em contribuições positivas do efeito atividade em todos os setores. O setor de Transporte Doméstico foi o maior contribuinte para o aumento das emissões, com +229,71 KtCO₂, seguido de perto pelo setor de Transportes, com +209,27 KtCO₂. O setor de Serviços também teve um papel proeminente, adicionando +128,26 KtCO₂. Em comparação, as contribuições da Indústria (+35,52 KtCO₂) e da Agricultura (+7,86 KtCO₂) foram consideravelmente mais modestas, refletindo um menor dinamismo económico nestas áreas.

A análise do efeito estrutura revela que a reorganização da matriz económica de Lisboa atuou, no seu conjunto, como um fator de mitigação de emissões, resultando numa redução agregada de -391,91 KtCO₂. Este valor negativo indica uma transição da economia para um perfil menos carbono-intensivo. Ocorre uma transferência do peso económico (VAB) de setores com maior intensidade de emissões — nomeadamente os Transportes e a Indústria, que perderam preponderância relativa — para setores com menor intensidade

carbónica, refletida na crescente terciarização da economia (expansão dos Serviços). Portanto, a alteração da estrutura produtiva foi, por si só, responsável por evitar uma quantidade significativa de emissões, independentemente das melhorias de eficiência técnica.

As melhorias na eficiência energética foram um fenómeno transversal, com a maioria dos setores a contribuir para a redução de emissões. Os maiores contributos vieram do Transporte Doméstico (-306,90 KtCO₂), Serviços (-233,21 KtCO₂), Residencial (-169,13 KtCO₂) e Indústria (-161,65 KtCO₂). Estes valores indicam um desacoplamento significativo entre o consumo de energia e a atividade económica ou doméstica.

O setor de Transportes (excluindo o doméstico) emerge, contudo, como uma anomalia notável, apresentando uma contribuição positiva de +154,08 KtCO₂. Este resultado indica uma piora na sua intensidade energética, significando que o setor passou a consumir mais energia por cada unidade de valor acrescentado que gerou. Este fenómeno pode ser descrito como um encolhimento ineficiente, enquanto a importância económica relativa do setor diminuía, a sua eficiência energética deteriorava-se, criando uma pressão adicional sobre as emissões totais.

A descarbonização do mix energético exerceu um impacto de magnitude considerável, mas profundamente heterogéneo entre os setores, revelando a natureza dual da transição energética de Lisboa nesta década. O setor de Serviços foi o principal beneficiário, com uma redução extraordinária de -692,63 KtCO₂, seguido pelo setor Residencial, com -242,86 KtCO₂. Estes resultados estão diretamente ligados à descarbonização do mix elétrico. Sendo setores altamente eletrificados, beneficiaram diretamente da forte penetração de energias renováveis, como a eólica e a hídrica, na geração de eletricidade.

Em forte contraste, os setores de Transporte Doméstico (+342,21 KtCO₂) e Transportes (+277,65 KtCO₂) registaram um aumento substancial nas emissões por unidade de energia consumida. Este resultado indica que estes setores, fortemente dependentes de combustíveis fósseis derivados do petróleo, não só não participaram na descarbonização, como podem ter transitado para combustíveis com maior intensidade carbónica ou sofrido alterações no mix de veículos. Os dados da decomposição LMDI

quantificam, assim, uma clivagem fundamental: a transição energética da primeira década foi, em grande medida, uma transição do setor elétrico, com benefícios confinados aos seus principais consumidores, enquanto os setores baseados em combustíveis líquidos seguiram uma trajetória de carbonização crescente.

A segunda década testemunhou uma inversão, marcando a maturação da estratégia climática de Lisboa. A cidade transcendeu o seu papel de mera beneficiária de políticas nacionais para se tornar o principal agente da sua própria descarbonização, com um foco renovado na gestão da procura de energia. A análise deste período, visível na tabela 7, demonstra inequivocamente que a política municipal pode influenciar de forma decisiva a trajetória de emissões, especialmente quando os ganhos mais fáceis de políticas nacionais já foram alcançados.

Setor	Efeito Atividade (Cact) (KtCO ₂)	Efeito Estrutural (Cstr) (KtCO ₂)	Efeito Intensidade (Cint) (KtCO ₂)	Efeito Fator de Emissão (Cemf) (KtCO ₂)
Agricultura	3,13	4,80	6,72	0,84
Indústria	12,13	-13,34	33,70	32,05
Serviços	24,01	3,83	-69,17	-29,34
Transportes	134,93	-254,11	-189,52	-47,10
Transporte Doméstico	138,59		-570,33	3,15
Residencial	26,51		-42,24	-10,90
Total	339,30	-258,82	-830,84	51,30

Tabela 7 - Decomposição das emissões de CO₂ em Lisboa expresso em Kt CO₂ (2011-2021). Fonte: autor com base na informação recolhida da DGEG e Banco de Portugal

Como reflexo da conjuntura económica mais adversa da década, todos os setores contribuíram positivamente para o efeito atividade, mas com magnitudes significativamente menores do que no período anterior. Os setores de Transporte Doméstico (+138,59 KtCO₂) e Transportes (+134,93 KtCO₂) mantiveram-se como os principais impulsionadores, embora com valores aproximadamente 40% inferiores aos da década de 2002-2011. O crescimento nos Serviços (+24,01 KtCO₂) e na Indústria (+12,13 KtCO₂) foi marcadamente mais lento, evidenciando o impacto duradouro da crise económica.

A tendência de reestruturação económica, já identificada na primeira década, prosseguiu, embora a um ritmo mais lento. Em termos agregados, o efeito estrutural manteve a sua tendência de mitigação, com uma contribuição negativa total de -258,82 KtCO₂. Este valor reflete uma reconfiguração da economia de Lisboa, impulsionada pela contínua perda de peso relativo dos setores mais intensivos em carbono (como os Transportes e a Indústria) no VAB total, em detrimento da consolidação de setores com menor intensidade ou perfis de emissão distintos (Serviços). Deste modo, a evolução da estrutura económica atuou, no seu conjunto, como um vetor de redução de emissões, ainda que com menor expressividade do que na década anterior.

O efeito intensidade assumiu um protagonismo absoluto na mitigação de emissões neste período, com melhorias de eficiência notáveis em quase todos os setores. A contribuição mais expressiva veio do Transporte Doméstico, com uma redução massiva de -570,33 KtCO₂.

A transmutação mais dramática e estatisticamente significativa ocorreu no setor de Transportes. Após uma década de deterioração da eficiência (+154,08 KtCO₂), o setor inverteu completamente a sua trajetória, contribuindo com uma redução de -189,52 KtCO₂. Esta inversão de mais de 340 KtCO₂ representa a mudança setorial mais impactante identificada na análise, transformando o setor de um problema de eficiência numa solução de eficiência. Esta melhoria pode estar associada a políticas de renovação de frotas e maior eficiência dos veículos.

Em marcado contraste, o setor da Indústria exibiu uma trajetória adversa e que suscita particular atenção. Revertendo a sua tendência anterior de melhoria, registou um

efeito intensidade positivo de +33,70 KtCO₂. Este resultado indica uma deterioração da sua eficiência energética, um desenvolvimento que contraria as tendências nacionais agregadas de melhoria da eficiência e sugere desafios específicos de competitividade ou investimento no setor industrial pós-crise.

A contribuição do fator de emissão para a mitigação registou um abrandamento considerável, com resultados mistos entre os setores. Os setores de Transportes (-47,10 KtCO₂) e Serviços (-29,34 KtCO₂) continuaram a beneficiar de um mix energético mais limpo, embora de forma muito mais modesta do que na década anterior.

No entanto, a Indústria registou um efeito positivo de +32,05 KtCO₂, indicando uma recarbonização do seu mix energético. Este resultado, combinado com a sua piora na eficiência energética, aponta para uma regressão dupla no desempenho ambiental do setor industrial. A estagnação do efeito do fator de emissão a nível agregado é, assim, explicada por uma perda de ímpeto na descarbonização dos setores elétricos (Serviços, Residencial) e por uma regressão efetiva no setor industrial. Isto sugere que, após os ganhos iniciais da expansão das renováveis, a fase seguinte de descarbonização do mix energético, especialmente na indústria, enfrentou maiores desafios ou estagnou.

A trajetória de descarbonização de Lisboa, ainda que consistentemente positiva em termos de redução líquida de emissões em ambas as décadas, foi impulsionada por mecanismos fundamentalmente distintos em cada período.

Em primeiro lugar, constata-se um abrandamento acentuado da pressão exercida pelo crescimento económico. O efeito atividade diminuiu em mais de 50%, passando de +692,94 KtCO₂ no período 2002-2011 para +339,30 KtCO₂ em 2011-2021. Esta redução quantifica o impacto macroeconómico da crise da dívida soberana e do subsequente período de crescimento mais lento, que tornou o desafio da descarbonização aritmeticamente menos exigente.

Em segundo lugar, verificou-se uma substituição nos principais vetores de mitigação. O primeiro período foi caracterizado por um esforço de mitigação partilhado entre três vetores, melhorias de intensidade energética (-765,87 KtCO₂), descarbonização do mix

energético (-394,14 KtCO₂) e reestruturação económica (-391,91 KtCO₂). Em contraste, o segundo período revelou uma dependência quase total dos ganhos de intensidade energética (-830,84 KtCO₂) como principal fonte de redução de emissões. A contribuição da descarbonização do mix energético diminuiu drasticamente para apenas -51,30 KtCO₂, indicando que o ímpeto inicial da transição para renováveis, tão forte na primeira década, não se manteve ao mesmo ritmo a nível agregado.

A análise setorial comparativa desvenda transformações profundas no comportamento de setores específicos, que são cruciais para compreender a evolução agregada. A mudança setorial mais significativa e positiva foi a inversão completa do efeito intensidade no setor dos Transportes. Este passou de uma contribuição negativa para a eficiência energética (+154,08 KtCO₂) na primeira década para se tornar um dos principais motores de mitigação por via da eficiência (-189,52 KtCO₂) na segunda. Esta inversão de mais de 340 KtCO₂ marca uma transição fundamental no desempenho do setor.

O setor de Serviços, que foi um gigante da mitigação no primeiro período (com uma redução líquida de 758 KtCO₂), teve uma contribuição muito mais modesta no segundo (redução de 71 KtCO₂). Esta mudança deve-se, em grande parte, à drástica redução do efeito do fator de emissão, que passou de -692,63 KtCO₂ para -29,34 KtCO₂. Isto sugere que os grandes ganhos de descarbonização associados à eletrificação e à limpeza do mix elétrico foram maioritariamente realizados na primeira década.

O comportamento do setor industrial, setor que representa sensivelmente 12% do VAB da cidade, apresenta a tendência mais preocupante. Ao analisar o Efeito Intensidade e o Efeito Fator de Emissão, ambos apresentaram valores positivos extremamente elevados, de +33,70 KtCO₂ e +32,05 KtCO₂, respetivamente (tabela 8). Esta conjugação demonstra um retrocesso em duas frentes tecnológicas cruciais, a indústria não só se tornou menos eficiente, consumindo mais energia por unidade de valor acrescentado (Intensidade), como também passou a utilizar um mix energético mais intensivo em carbono (Fator de Emissão).

(Sub)Setor	2011-2021
Indústrias Extrativas	54,45
Indústrias Transformadoras	221,45
Construção	22,00

Tabela 8 - Evolução do Fator de Emissão em % (2011-2021). Fonte: autor com base na informação recolhida da DGE

Esta conclusão é diretamente corroborada pela análise da evolução do fator de emissão (tabela 5), que demonstra um agravamento em todos os subsetores industriais, com destaque particular para as Indústrias Transformadoras (+221,45%). Conclui-se, assim, que a indústria remanescente na área de estudo está a operar de forma contrária à transição energética, tendo-se tornado, no período em análise, simultaneamente menos eficiente e mais poluente. Este fenómeno pode ter ocorrido porque em momentos de forte pressão económica, as empresas tendem a cortar drasticamente o investimento em capital, conduzindo a um adiamento de investimentos em maquinaria nova e mais eficiente, resultando uma degradação da sua eficiência energética média, o que explica o efeito intensidade positivo. Simultaneamente, para reduzir custos operacionais, as empresas podem ter sido incentivadas a substituir fontes de energia mais limpas, mas mais caras por combustíveis mais baratos e poluentes, explicando o Efeito Fator de Emissão positivo.

5. A Trajetória do Porto

5.1 O Contexto Metropolitano

A Área Metropolitana do Porto (AMP) e o seu município-núcleo, o Porto, apresentam dinâmicas demográficas e de emissões contrastantes que são fundamentais para compreender a trajetória de descarbonização da região. Entre 1995 e 2023, a população do município do Porto diminuiu aproximadamente 12,07%. Atingindo um decréscimo máximo, excetuando 2020, em 2014 com uma redução de 17,43%. Na AMP assistimos a um crescimento populacional de 8,5%, num claro processo de suburbanização (figura 11). No entanto, a análise da população empregada mostra que o Porto manteve a sua centralidade económica, concentrando cerca de 13% do emprego metropolitano de forma consistente, apenas atrás de Vila nova de Gaia com 17%, ao longo de um período em que a AMP registou um decréscimo de aproximadamente 31% da população empregada. Contudo, este facto sublinha o papel da cidade como o principal polo de atração de movimentos pendulares diários, um fator crucial para os padrões de mobilidade e consumo de energia.

Esta divergência demográfica reflete-se na evolução das emissões de CO₂ entre 1995 e 2023. Enquanto o município do Porto registou uma redução nas suas emissões totais em 26,1% passando de 752,90 KtCO₂ para 556,33 KtCO₂, ainda que a sua redução não tenha sido linear. Neste intervalo, assistiu-se a uma redução no consumo de gasolinas de 68.11% e uma redução de aproximadamente 4% de gasóleos. Em contraste a AMP viu as suas emissões totais aumentar aproximadamente 18%, bem como o consumo de gasóleo que se evidenciou por um crescimento de 46.59%, apenas as emissões de gasolinas seguiram a tendência da cidade reduzindo 46.44% (figuras 12 e 13).

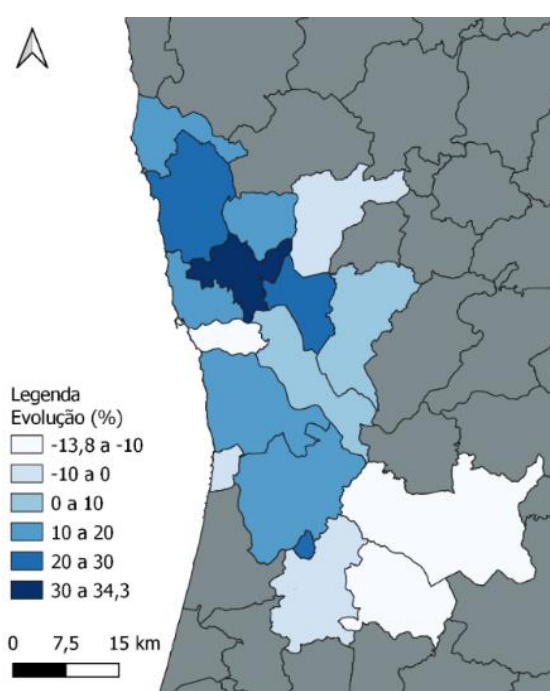


Figura 11 - Taxa de Crescimento da População (1995-2023). Fonte: elaboração própria

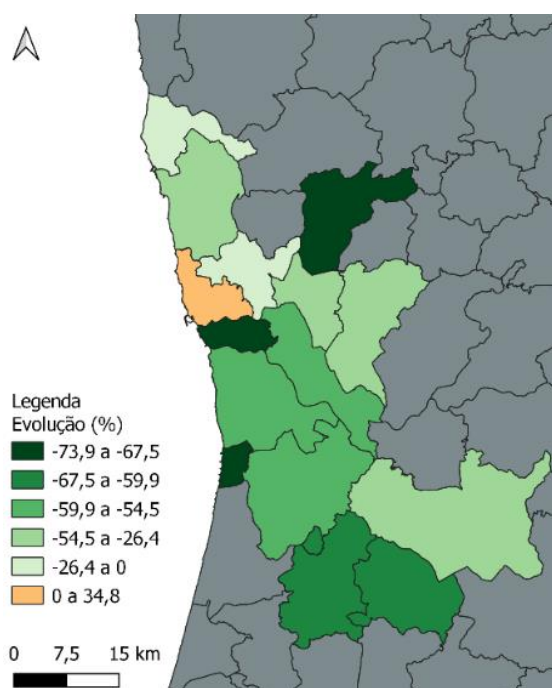


Figura 12 - Taxa de Crescimento do Consumo de Gasolina (1995-2023). Fonte: elaboração própria

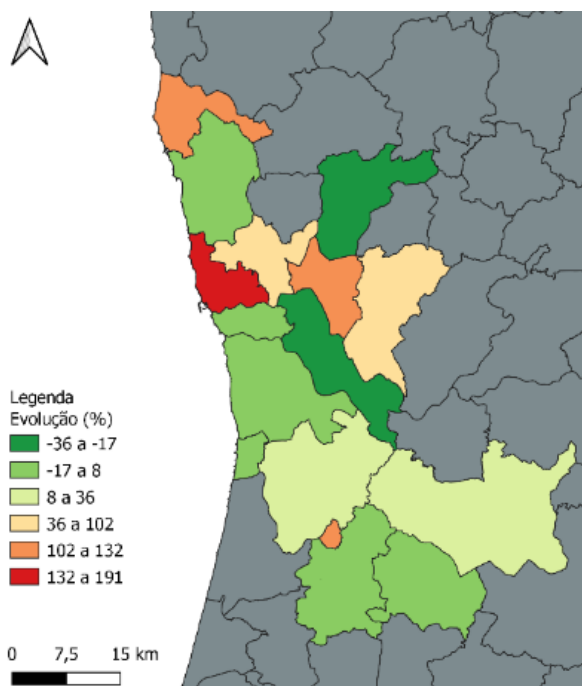


Figura 13 - Taxa de Crescimento do Consumo de Gasóleo (1995-2023). Fonte: elaboração própria

A governação deste complexo território metropolitano no Porto assenta numa forte tradição de cooperação intermunicipal, um fator chave para enfrentar desafios regionais como as alterações climáticas. A AMP funciona como uma plataforma essencial para a cooperação institucional, promovendo sinergias e soluções inovadoras na ausência de outras estruturas governamentais de nível regional. Um exemplo primordial desta governação cooperativa é a vocação metropolitana da AdEPorto – Agência de Energia do Porto. Criada em 2007, a agência expandiu rapidamente o seu âmbito para além da cidade do Porto, e em 2010 já prestava apoio técnico e coordenação à maioria dos municípios a norte do rio Douro. Esta expansão demonstra como uma entidade técnica especializada pode servir eficazmente toda uma região metropolitana, garantindo uma abordagem coordenada às políticas energéticas e climáticas, o que constitui uma distinção do seu modelo de governação (Porto., s.d.).

No domínio da adaptação climática, este espírito colaborativo materializa-se no plano METROCLIMA (Plano Metropolitano de Adaptação às Alterações Climáticas da AMP). Esta iniciativa estratégica visa criar um entendimento partilhado dos riscos e vulnerabilidades climáticas em toda a área metropolitana. Através de consultas públicas e institucionais, o METROCLIMA procura construir uma base de conhecimento comum para apoiar o desenvolvimento de um plano de adaptação metropolitano e de estratégias municipais individuais, fortalecendo assim a resiliência local e regional (Monteiro, 2017).

O setor dos transportes, uma das principais fontes de emissões, está também a ser abordado através de uma estrutura de governação metropolitana unificada. A recente criação da Transportes Metropolitanos do Porto (TMP) centraliza a gestão do transporte público na região. A TMP gere agora o sistema de bilhética intermodal "Andante" e os contratos da nova rede de autocarros unificada, "UNIR". Esta integração é um passo fundamental para melhorar a eficiência e a coordenação dos transportes públicos, promovendo a intermodalidade e o objetivo estratégico de descarbonizar a mobilidade em toda a AMP.

5.2 Fase I (1995-2006): Passos Fundamentais e Aprendizagem Institucional

No início do período em análise, o Porto enfrentava os desafios ambientais característicos de um centro urbano inserido numa região com um forte legado industrial (Ribeiro, 2019). A política urbana estava predominantemente focada em objetivos de regeneração física e desenvolvimento de infraestruturas, tratando as questões ambientais de forma setorial e reativa, em vez de as integrar numa visão estratégica de sustentabilidade (Câmara Municipal do Porto, s.d.). A agenda política ambiental era largamente definida e impulsionada por forças externas, nomeadamente as diretivas da União Europeia e a sua transposição para a legislação nacional, tornando a ação municipal reativa e fragmentada (Queirós, 2002). A nível nacional, esta foi uma fase de construção da arquitetura de governação ambiental em Portugal, com a formação de organismos precursores da atual Agência Portuguesa do Ambiente (APA) (Decreto-Lei n.º 56/2012, 2012) (Decreto-Lei n.º 113/2003, 2003).

A análise dos dados energéticos desta fase revela uma matriz fortemente dependente de combustíveis fósseis, refletindo uma economia em crescimento sem uma política de descarbonização ativa. O consumo de energia atingiu o seu pico neste período, superando os 15500 TJ em 1998, 2002 e 2004 (figura 14). A matriz era dominada pelos produtos petrolíferos, com o consumo de gasolinas a atingir um pico de 4230 TJ em 1996 e o de gasóleo a alcançar um máximo de 5030 TJ em 1998. Em contrapartida, o consumo de eletricidade cresceu continuamente, aumentando cerca de 35% de 3740 TJ em 1995 para mais de 5020 TJ em 2007, um indicador da modernização económica e da crescente eletrificação dos setores residencial e de serviços. Este perfil energético teve um reflexo direto nas emissões de CO₂, que atingiram o seu valor máximo em 1998 (822,55 Kt) e cujas emissões per capita chegaram a 3,11 toneladas em 2004, um ano de elevado consumo de gasóleo.

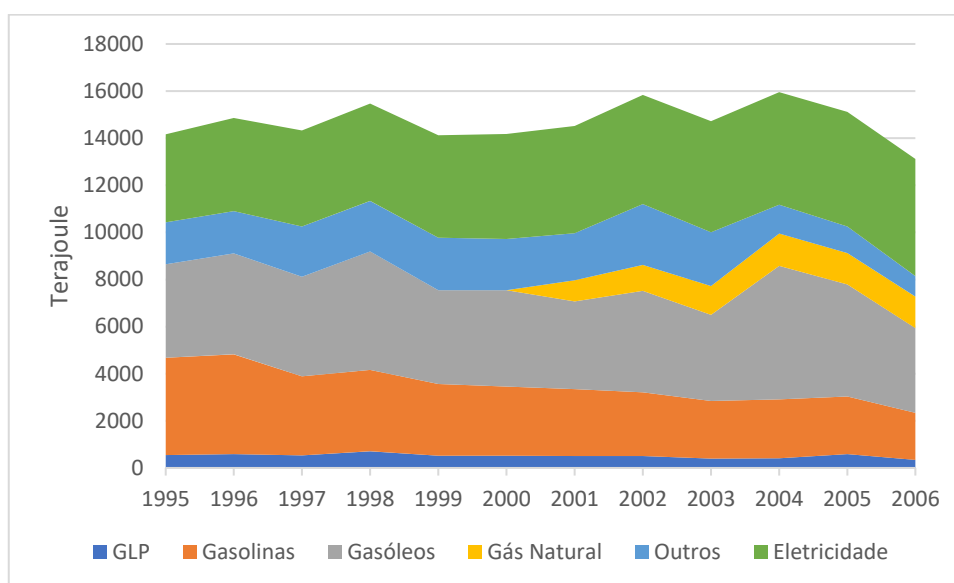


Figura 14 - Evolução do Consumo de Energia expresso em Tj (1995-2006). Fonte: autor com base na informação recolhida da DGEG

A primeira iniciativa de relevo para um planeamento integrado da sustentabilidade surgiu com a participação do município no processo da Agenda 21 Local, que decorreu entre 2003 e 2006. Esta iniciativa distinguiu-se de outras a nível nacional pelo seu enquadramento único, inserindo-se num projeto transfronteiriço mais vasto, o Eixo Atlântico do Noroeste Peninsular, financiado pelo programa europeu INTERREG. Esta abordagem precoce revelou uma orientação para a cooperação intermunicipal e transfronteiriça, uma característica que se tornaria um pilar da governança regional nos anos seguintes (Câmara Municipal do Porto, s.d.)

Contudo, o desfecho deste processo foi revelador da cultura institucional da cidade. Em 2006, o documento final da fase de diagnóstico, elaborado por consultores externos no âmbito do projeto, foi formalmente rejeitado pelo grupo de trabalho técnico da Câmara Municipal do Porto. A justificação apresentada para esta decisão foi a ausência de consenso técnico e a falta de robustez e consistência técnica da proposta. O que poderia ser interpretado como um fracasso revelou-se, na verdade, um fracasso construtivo. Em vez de abandonar a agenda da sustentabilidade, esta experiência desencadeou um processo de reflexão interna que levou o município a reconhecer a necessidade de desenvolver competências e conhecimento próprios. O processo de diagnóstico participado, embora o

seu resultado formal tenha sido rejeitado, permitiu a acumulação de um valioso capital de conhecimento do estado do ambiente, que se provaria fundamental para o desenho de uma estratégia própria e mais robusta em 2014, o Plano Municipal de Ambiente (Câmara Municipal do Porto, s.d.). Este episódio demonstrou uma cultura institucional que valoriza o rigor técnico, a apropriação interna do conhecimento e a preferência por soluções desenvolvidas localmente, em detrimento da aplicação de modelos externos pré-formatados.

5.3 Fase II (2007-2015): A Emergência de uma Governança Energética Estruturada

A segunda fase da trajetória da cidade do Porto foi marcada por um avanço pioneiro a nível nacional, aderindo ao Pacto de Autarcas logo no ano do seu lançamento, em 2008. Esta adesão precoce não foi um ato isolado, sinalizou o início de um movimento bottom-up em Portugal, onde as cidades mais proativas começaram a assumir um papel de liderança, antecipando-se, em muitos casos, a um enquadramento nacional mais robusto para a ação local (Garrido, 2023). Assistiu-se também a uma formalização do planeamento climático e pela criação de uma estrutura institucional dedicada à energia, alinhando a cidade com as tendências e os mecanismos de apoio que emergiam a nível europeu. O marco central deste período foi a criação da AdEPorto – Agência de Energia do Porto, em 1 de março de 2007. Tal como a sua congénere em Lisboa — a AMERLIS, criada em 1998 com o apoio do programa SAVE II e que evoluiu para Lisboa E-Nova em 2004 — a AdEPorto foi estabelecida com o apoio do programa europeu Intelligent Energy Europe e contou com a participação de um vasto leque de entidades locais, assumindo desde o início um papel central na promoção da eficiência energética e das energias renováveis no território, conforme definido nos seus estatutos (Energy Cities, 2019).

Um desenvolvimento distintivo e que diferencia a abordagem do Porto foi a rápida expansão do âmbito de atuação da AdEPorto para uma escala metropolitana. Já em 2010, com o apoio de fundos comunitários, a agência integrou a maioria dos municípios da Área Metropolitana do Porto a norte do rio Douro, assumindo uma função de coordenação e apoio técnico a uma escala muito mais vasta do que a estritamente municipal (AdEPorto,

s.d.). Esta vocação metropolitana reflete a forte tradição de cooperação intermunicipal da região e contrasta com abordagens mais focadas no município, como a da Lisboa E-Nova.

Na sequência da adesão da cidade ao Pacto de Autarcas (Covenant of Mayors , 2010), a AdEPorto liderou a elaboração do primeiro Plano de Ação para a Energia Sustentável do Porto (Câmara Municipal do Porto, 2010). Submetido em 2010, este plano representou um marco na formalização da política climática da cidade, estabelecendo a sua primeira meta formal de mitigação, uma redução de 20% das emissões de CO₂ até 2020, em relação a um ano de referência. A metodologia do plano abordou a questão energética de forma integrada, com ações focadas tanto no lado da oferta como no da procura. Do lado da oferta, as medidas incluíam a promoção da mudança de vetor energético, o incentivo à instalação de sistemas solares térmicos e o fomento da produção local de energias renováveis. Do lado da procura, as ações centravam-se na melhoria da eficiência energética nos edifícios, na mobilidade, na iluminação pública e no sistema de abastecimento de água. Crucialmente, o PAES foi o primeiro documento a reconhecer a necessidade de colaboração com os principais stakeholders da cidade, como a STCP, o Metro do Porto e a Lipor, para atingir as metas estabelecidas. A elaboração e implementação do plano pela agência de energia, em estreita colaboração com o município, consolidou um modelo de governança em que a AdEPorto funciona como o principal braço técnico e de implementação da política energética e climática da cidade (AdEPorto, 2021).

O perfil energético e de emissões desta fase reflete a interação de múltiplas forças, a implementação de políticas, a crise financeira de 2008 e o início do "boom" turístico. A crise teve um impacto visível, com o consumo total de energia a cair de cerca de 13000 TJ em 2008 para um mínimo de 11263 TJ em 2013. As emissões per capita seguiram a mesma tendência, diminuindo de 2,30 toneladas em 2008 para 1,94 em 2013. Esta redução esteve provavelmente mais associada à contração da atividade económica do que à implementação de medidas de eficiência em larga escala. A partir de 2013, a recuperação económica, impulsionada pelo crescimento exponencial do turismo — as dormidas passaram de 1,46 milhões em 2009 para 2,9 milhões em 2015 — inverteu esta tendência. O consumo de energia recuperou para 12803 TJ em 2015, e as emissões per capita subiram para 2,43

toneladas, evidenciando a forte ligação entre a atividade económica e as emissões, um desafio que as novas políticas teriam de enfrentar.

5.4 Fase III (2016-2023): Ambição Acelerada e Ação Colaborativa

A fase mais recente da trajetória do Porto é caracterizada por uma notável aceleração da ambição climática e pela consolidação de um modelo de governança marcadamente colaborativo, que procura envolver toda a sociedade no esforço de descarbonização. A iniciativa mais emblemática deste período é o Pacto do Porto para o Clima, lançado pela Câmara Municipal. Este pacto distingue-se por ser uma plataforma de mobilização alargada que conseguiu agregar mais de 600 subscritores, incluindo cidadãos, empresas, universidades e outras instituições da cidade. Este modelo de governança em rede, que aposta na co-criação e na responsabilidade partilhada, contrasta com abordagens mais centralizadas e revela uma maturação da política climática local (Porto Ambiente, 2023; Mayors, 2022).

Este compromisso colaborativo está formalizado no Plano Municipal de Ação Climática (PMAC), o principal instrumento estratégico da cidade, desenvolvido em conformidade com a Lei de Bases do Clima. O PMAC é um documento agregador que integra e atualiza a Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas (EMAAC) e o Plano de Ação para a Energia Sustentável 2030 (PAES 2030) (Câmara Municipal do Porto, 2025).

A meta central do PMAC é particularmente ambiciosa e posiciona o Porto na vanguarda da ação climática em Portugal, atingir a neutralidade carbónica em 2030. Esta meta foi posteriormente detalhada no âmbito da Missão da UE, visando uma redução de 85% das emissões e a compensação dos restantes 15%. Esta meta é temporalmente muito mais exigente do que a meta nacional, que aponta para a neutralidade carbónica até 2050, com uma ambição de a antecipar para 2045, e também mais ambiciosa do que a meta de 2050 inicialmente estabelecida por Lisboa. O plano detalha um conjunto de medidas de mitigação e adaptação com um foco claro nos setores prioritários dos edifícios, responsáveis por 51% das emissões, e dos transportes, responsáveis por 42% (Câmara Municipal do Porto, 2025).

Para concretizar esta ambição, foram realizados investimentos significativos em mobilidade sustentável, complementados por uma estratégia de planeamento integrado através do Plano de Mobilidade Urbana Sustentável (PMUS) e do Plano de Logística Urbana Sustentável (PLUS) (Área Metropolitana do Porto, 2016) . A rede do Metro do Porto, para além da expansão da Linha Amarela, avançou com concursos para quatro novas linhas, num investimento superior a mil milhões de euros (Metro do Porto, 2023). Em paralelo, a STCP iniciou a eletrificação da sua frota, com a aquisição de 48 novos autocarros 100% elétricos em 2024, apoiada pelo Plano de Recuperação e Resiliência (PRR), visando uma redução anual de cerca de 4000 toneladas de CO₂ (Pacto do Porto para o Clima, 2024). Na transição energética dos edifícios, a aposta na geração descentralizada materializou-se no projeto "Porto Solar". Lançado em 2022, resultou na instalação de 2327 painéis fotovoltaicos em 29 edifícios públicos, incluindo 25 escolas. Com uma potência instalada de 1 MWp, o projeto visa gerar 1.4 GWh de eletricidade por ano para autoconsumo, permitindo uma poupança anual superior a 150 mil euros e uma redução de 500 toneladas de emissões de GEE, com o objetivo de criar futuras comunidades de energia renovável (AdEPorto, Porto Solar, 2022)

Apesar da aceleração política, os dados de energia e emissões deste período revelam o profundo desafio de dissociar o crescimento económico do consumo de recursos. Entre 2016 e 2019, num período de forte crescimento do turismo, que tem vindo a demonstrar cada vez mais força na economia da cidade, atingiu um recorde de 4,6 milhões de dormidas (figura 15), as emissões per capita aumentaram de 2,28 para 2,43 toneladas (figura 17).

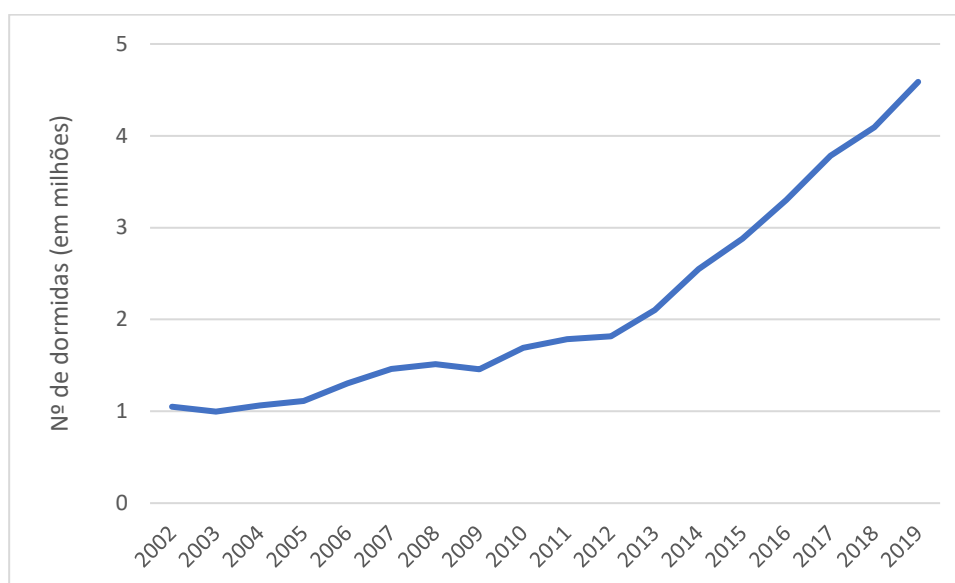


Figura 15 - Evolução do nº de dormidas em estabelecimentos hoteleiros (2002-2019). Fonte: autor com base na informação recolhida no INE

A queda acentuada para 2,15 toneladas em 2020 não foi resultado das políticas implementadas, mas sim um efeito direto dos confinamentos associados à pandemia de COVID-19, que reduziram drasticamente a atividade económica e a mobilidade. O subsequente reatamento da atividade económica em 2021-2023 foi acompanhado por um novo aumento das emissões, que atingiram 2,24 toneladas per capita em 2023, e relançamento do turismo, superando o antigo máximo estabelecido em 2019. Isto sublinha que o desafio fundamental para atingir a neutralidade em 2030 reside na quebra efetiva da ligação entre prosperidade económica e emissões de carbono.

Efetivamente, apesar da descida provocada pelas restrições da pandemia vemos um crescimento nos anos seguintes rapidamente a retomar os valores pré-pandemia, não se verificando assinaláveis oscilações entre as diferentes energias, mantendo-se a eletricidade, gasóleo e gás natural como as principais fontes (figura 16).

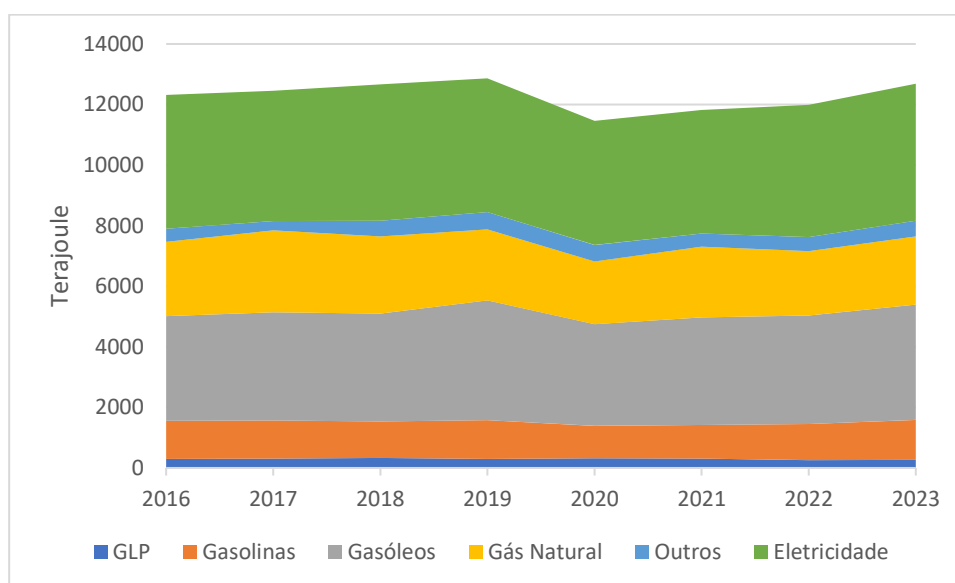


Figura 16 - Evolução do Consumo de Energia expresso em Tj (2016-2023). Fonte: autor com base na informação recolhida da DGEG

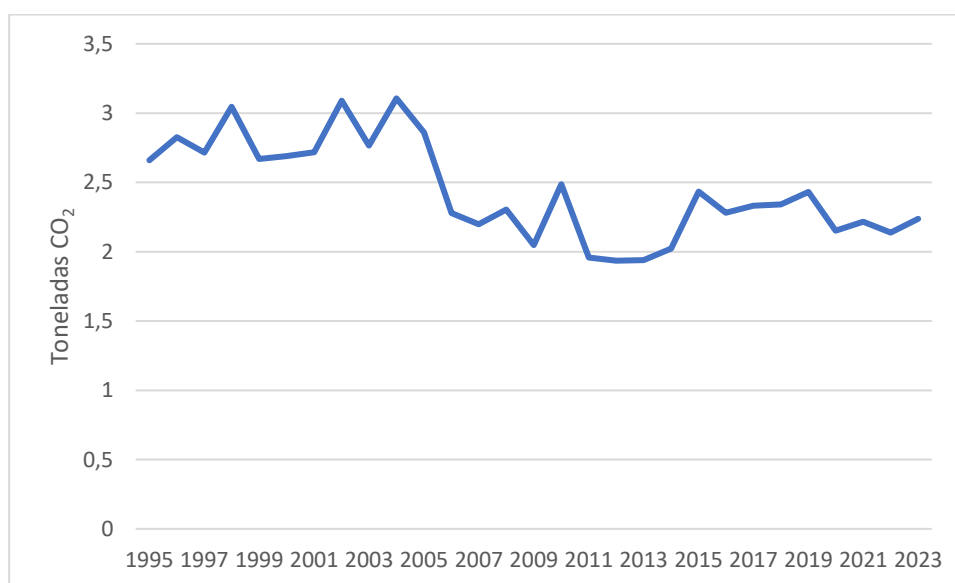


Figura 17 - Evolução das Emissões de CO₂ Per Capita expresso em toneladas (1995-2023). Fonte: autor com base na informação recolhida no INE e DGEG

O reconhecimento da robustez e ambição da estratégia do Porto foi validado a nível europeu com a seleção da cidade para a Missão da UE para 100 Cidades Inteligentes e com Impacto Neutro no Clima. Esta seleção veio reforçar a estratégia da cidade, fornecendo apoio

técnico e financeiro crucial para a concretização da sua meta de 2030 e inserindo-a numa rede de cidades pioneiras na transição energética.

5.5 Evolução dos Indicadores Macroeconómicos e Ambientais

A análise estratégica dos indicadores do Porto, de 1995 a 2023, revela uma trajetória de descarbonização complexa e não linear, marcada por uma dissociação preocupante entre a eficiência económica e a descarbonização efetiva do seu sistema energético. O sucesso mais inequívoco da cidade reside na melhoria contínua da sua Intensidade Energética, que demonstra uma capacidade robusta e crescente de gerar mais VAB por cada unidade de energia consumida. Este ganho de eficiência estrutural é, contudo, neutralizado por uma falha crítica no segundo vetor: a Intensidade Carbónica. Após uma melhoria significativa até 2011, este indicador estagnou, revelando que o mix energético da cidade deixou de se tornar mais limpo na última década.

Esta estagnação é a chave para compreender a evolução das emissões totais de CO₂. Ao contrário de uma trajetória de declínio sustentado, as emissões do Porto atingiram um ponto mínimo em 2012 (com uma diferença residual para 2011) e, desde então, mostram uma tendência de subida, especialmente nos períodos de recuperação económica. Isto indica que o progresso da cidade tem estado fortemente correlacionado com choques macroeconómicos externos, como a crise financeira de 2008 e a pandemia de 2020, que suprimiram a atividade económica. A trajetória do Porto demonstra, assim, um desafio persistente em dissociar o crescimento económico das emissões. Embora as metas de curto prazo tenham sido atingidas, a cidade enfrenta um desafio estrutural, os ganhos de eficiência são anulados por uma matriz energética que não acompanha a transição, tornando a meta de neutralidade climática altamente vulnerável aos ciclos de prosperidade económica (ver com mais detalhe na tabela 9).

Ano	População Residente	VAB Total (M€, Preços Constantes 2021)	CFE Total (TJ)	Emissões Totais de CO ₂ (kt)	Emissões CO ₂ per capita (t)	Intensidade Energética (TJ/M€ VAB)	Intensidade Carbónica (tCO ₂ /TJ)
1995	282914		14169	7529	2,6	5	53,1
2001	261132	3067	14517	7098	2,7		48,9
2004	254488		15954	7906	3,1		49,6
2011	235882	3281	11481	4618	2,0	4	40,2
2015	233613		12803	5684	2,4		44,4
2020	232873		11466	5011	2,1		43,7
2021	236003	4619	11824	5233	2,2	3	44,3
2022	243016		11993	5193	2,1		43,3
2023	248769		12691	5563	2,2		43,8

Tabela 9 - Indicadores Chave de Desempenho do Porto (1995-2023). Fonte: autor com base na informação recolhida da DGEG e Banco de Portugal

5.6 Decomposição dos Fatores Determinantes das Emissões de CO₂ (2004-2021): Uma Análise LMDI

Neste sexto momento do capítulo procedo à semelhança do que foi feito para o caso de Lisboa com uma análise macro da dinâmica das emissões, quantificando a contribuição agregada de cada um dos quatro efeitos para a variação total das emissões em cada período de análise. A tabela 10, que se segue, consolida estes resultados.

Período	Variação Real (KtCO ₂)	Efeito Atividade (Cact) (KtCO ₂)	Efeito Estrutural (Cstr) (KtCO ₂)	Efeito Intensidade (Cint) (KtCO ₂)	Efeito Fator de Emissão (Cemf) (KtCO ₂)
2004–2011	-328,89	+52,91	-67,69	-171,11	-142,99
2011–2021	+60,81	+191,86	-29,94	-117,93	+16,81

Tabela 10 - Resultados Agregados LMDI expresso em Kt CO₂ (2004-2021). Fonte: autor com base na informação recolhida da DGEG e Banco de Portugal

No primeiro período analisado, 2004–2011, as emissões totais de CO₂ no Porto registaram uma redução líquida robusta de 328,89 mil toneladas. Esta redução à semelhança do que analisamos no capítulo anterior ocorreu num contexto de instabilidade macroeconómica. O Efeito Atividade, refletindo essa conjuntura, foi o único fator de pressão, mas com um contributo modesto de 53 mil toneladas. Esta pressão foi, contudo, largamente superada pela ação combinada de três forças mitigadoras.

O Efeito Intensidade Energética e o Efeito Fator de Emissão emergiram como os pilares gêmeos da descarbonização, com contribuições de magnitude semelhante e muito significativas, de -171,11 mil toneladas e -143 mil toneladas, respetivamente. O Efeito Estrutura contribuiu adicionalmente com -67,69 mil toneladas. A análise agregada revela que a redução total foi fruto de uma combinação de melhorias na eficiência energética, na limpeza do mix energético e na estrutura económica, que em conjunto anularam o modesto crescimento da atividade.

No segundo período, 2011–2021, a tendência inverteu-se, com as emissões totais de CO₂ a registarem um aumento líquido de 60,81Kt. A dinâmica subjacente a esta re-intensificação carbónica foi marcadamente distinta da década anterior, refletindo o período de recuperação económica e crescimento da atividade.

O Efeito Atividade transmutou-se, passando de um fator modesto para a força motriz dominante, contribuindo com um aumento de 191,86 Kt. Este valor, cerca de 3,6 vezes superior ao do período anterior (um aumento de 262%), quantifica o impacto da

recuperação económica. Em contraste, a mitigação perdeu ímpeto. Embora o Efeito Intensidade Energética se tenha mantido como o principal vetor de mitigação (-117,93 Kt), a sua contribuição diminuiu 31% face ao período anterior.

A alteração mais crítica, no entanto, ocorreu no Efeito Fator de Emissão, este perdeu o seu vigor, passando de um mitigador-chave (-142,99 mil toneladas) para um contribuinte líquido para o aumento de emissões (+16,81 mil toneladas). A análise comparativa revela uma transmutação fundamental, a segunda década foi dominada pela pressão da atividade económica, que os ganhos de eficiência, agora mais fracos, não conseguiram compensar, sendo esta situação agravada pelo colapso da contribuição da descarbonização do mix energético.

A análise agregada aluna heterogeneidades setoriais críticas. Nesta secção, procedo à desagregação dos resultados para o período 2004-2011, com o objetivo de identificar os setores que foram os principais impulsionadores de cada um dos quatro efeitos. A tabela 11 apresenta um panorama detalhado destes resultados.

Setor	Efeito Atividade (Cact) (KtCO ₂)	Efeito Estrutural (Cstr) (KtCO ₂)	Efeito Intensidade (Cint) (KtCO ₂)	Efeito Fator de Emissão (Cemf) (KtCO ₂)
Agricultura	+0,31	-0,96	-5,61	+1,36
Indústria	+4,68	-19,56	+23,31	-6,66
Serviços	+13,47	+12,20	-66,41	-137,51
Transportes	+14,08	-59,36	+10,12	+77,48
Transporte Doméstico	+14,80		-108,96	+92,14
Residencial	+5,57		-23,56	-169,80
Total	+52,91	-67,68	-171,11	-142,99

Tabela 11 - Decomposição das emissões de CO₂ no Porto expresso em Kt CO₂ (2004-2011). Fonte: autor com base na informação recolhida da DGEG e Banco de Portugal

O modesto crescimento da atividade económica neste período, num contexto de instabilidade, traduziu-se em contribuições positivas, mas contidas, em todos os setores. Os setores ligados à mobilidade, Transporte Doméstico (+14,80 mil toneladas) e Transportes (+14,08 mil toneladas), foram os principais impulsionadores. Em comparação, os contributos dos Serviços (+13,47 mil toneladas), Residencial (+5,57 mil toneladas) e Indústria (+4,68 mil toneladas) foram marcadamente inferiores, refletindo o abrandamento económico da época.

A análise do efeito estrutural desvenda uma reorganização da matriz económica do Porto. O setor de Serviços foi o único a apresentar uma contribuição positiva (+12,20 mil toneladas), um indicador do aumento da sua quota relativa no VAB, alinhado com a terciarização da economia. Em contrapartida, os setores da Indústria (-19,56 mil toneladas) e, de forma mais acentuada, dos Transportes (-59,36 mil toneladas) registaram contribuições negativas. Estes valores quantificam uma perda de peso relativo. O valor agregado mitigador (-67,68 mil toneladas) é, portanto, largamente explicado pela contração da quota destes dois setores, que mais do que compensou o crescimento relativo dos Serviços.

As melhorias na eficiência energética foram um fenómeno significativo, mas não transversal. Os maiores contributos para a mitigação vieram do Transporte Doméstico (-108,96 mil toneladas) e dos Serviços (-66,41 mil toneladas). Estes valores indicam um desacoplamento significativo entre o consumo de energia e a atividade, possivelmente ligados a políticas como o PNAEE (Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética), que visava a renovação de eletrodomésticos e iluminação.

O setor da Indústria (+23,31 mil toneladas) e o dos Transportes (+10,12 mil toneladas) emergem, contudo, como anomalias notáveis, apresentando contribuições positivas. Estes resultados indicam uma piora na sua intensidade energética, significando que estes setores passaram a consumir mais energia por unidade de atividade ou VAB durante esta década.

A descarbonização do mix energético exerceu um impacto de magnitude considerável (-142,99 mil toneladas), mas profundamente heterogéneo, revelando a natureza dual da transição energética do Porto nesta década.

O setor Residencial foi o principal motor de mitigação, com uma redução extraordinária de -169,80 mil toneladas, seguido pelo setor de Serviços, com -137,51 mil toneladas. Estes resultados estão possivelmente ligados à expansão da rede de gás natural em detrimento de combustíveis mais poluentes e à progressiva descarbonização do mix elétrico nacional que beneficia estes setores.

Em forte contraste, os setores da mobilidade, Transporte Doméstico (+92,14 mil toneladas) e Transportes (+77,48 mil toneladas), registaram um aumento substancial nas emissões por unidade de energia consumida. Este resultado indica que estes setores, fortemente dependentes de combustíveis fósseis, não só não participaram na descarbonização, como podem ter transitado para combustíveis com maior intensidade carbónica (e.g., "dieselização"). Os dados quantificam, assim, uma clivagem fundamental, a transição energética desta década foi, em grande medida, uma transição dos setores de consumo de rede (eletricidade e gás), enquanto os setores baseados em combustíveis líquidos seguiram uma trajetória de carbonização crescente.

O período de 2011 a 2021 como perceberemos através da tabela 12 assinala uma inversão paradigmática. A recuperação económica pós-crise trouxe consigo o ressurgimento da pressão sobre as emissões, que aumentaram em 60,81 mil toneladas. Esta fase desvela o desafio intrínseco da dissociação entre crescimento e emissões, precisamente quando a governação climática do Porto atingia a sua maturidade institucional e programática.

Setor	Efeito Atividade (Cact) (KtCO ₂)	Efeito Estrutural (Cstr) (KtCO ₂)	Efeito Intensidade (Cint) (KtCO ₂)	Efeito Fator de Emissão (Cemf) (KtCO ₂)
Agricultura	+1,10	+0,97	+1,04	+0,31
Indústria	+24,83	-12,14	+10,79	+1,85
Serviços	+20,31	+1,31	-38,55	-20,78
Transportes	+73,02	-20,08	-32,61	+4,07
Transporte Doméstico	+64,25		-54,32	+0,82
Residencial	+8,35		-4,28	+30,55
Total	191,86	-29,94	-117,93	16,82

Tabela 12 - Decomposição das emissões de CO₂ no Porto expreso em Kt CO₂ (2011-2021). Fonte: autor com base na informação recolhida da DGEG e Banco de Portugal

Como reflexo da recuperação económica, o efeito atividade foi positivo em todos os setores, atingindo um total de +191,86 mil toneladas. Os setores de Transportes (+73,02 mil toneladas) e Transporte Doméstico (+64,25 mil toneladas) mantiveram-se como os principais impulsionadores. Em conjunto, estes dois setores da mobilidade foram responsáveis por 71.5% do aumento total do Efeito Atividade. Este dado quantifica a explosão da procura de mobilidade no período pós-crise, que pode estar associada ao *boom* turístico (e.g., crescimento do aeroporto e dormidas) e à emergência de novos serviços de mobilidade, como os TVDE, legalizados nesta década.

A tendência de reestruturação económica prosseguiu, embora a um ritmo consideravelmente mais lento do que no período anterior. Em termos agregados, o efeito

estrutural resultou numa contribuição mitigadora de -29,94 mil toneladas de CO₂. Este valor reflete a continuidade da perda de peso relativo dos setores tradicionalmente mais intensivos, como os Transportes e a Indústria, na estrutura económica da cidade. Por sua vez, o setor dos Serviços apresentou apenas um ganho marginal na sua quota de VAB, sugerindo que o processo mais acentuado de terciarização da economia já se tinha consolidado na década anterior.

O efeito intensidade assumiu o protagonismo da mitigação neste período (-117,93 mil toneladas), com contribuições relevantes do Transporte Doméstico (-54,32 mil toneladas) e Serviços (-38,55 mil toneladas).

A transmutação mais dramática e estatisticamente positiva ocorreu no setor de Transportes. Após uma década de deterioração da eficiência (+10,12 mil toneladas), o setor inverteu completamente a sua trajetória, contribuindo com uma redução de -32,61 mil toneladas. Esta inversão de mais de 42 mil toneladas representa uma mudança setorial impactante, transformando o sector de um problema de eficiência numa solução de eficiência. Esta melhoria pode estar associada a políticas de renovação de frotas públicas (e.g., STCP) e privadas (e.g., integração de veículos elétricos/híbridos e normas EURO mais recentes) e à modernização de infraestruturas como o Metro do Porto.

Em marcado contraste, o setor da Indústria exibiu uma trajetória adversa persistente. Manteve um efeito intensidade positivo de +10,79 mil toneladas. Este resultado indica uma contínua deterioração ou estagnação da sua eficiência energética, um desenvolvimento que contraria as metas nacionais de eficiência e sugere desafios específicos no tecido industrial.

A contribuição do fator de emissão para a mitigação registou uma deterioração agregada, revertendo para um valor positivo de +16,82 mil toneladas. Esta inversão agregada é quase inteiramente explicada pela inversão crítica ocorrida no setor Residencial. Este setor, que fora o principal motor de mitigação na primeira parte analisada (-169,80 mil toneladas), registou agora um forte aumento de +30,55 mil toneladas. Esta inversão de mais de 200 mil toneladas foi tão adversa que, por si só, eclipsou os ganhos de descarbonização obtidos no setor de Serviços (-20,78 mil toneladas) e foi a principal responsável por reverter o sinal do Fator de Emissão agregado.

A análise setorial desvenda as transformações profundas que explicam a inversão agregada. Em síntese, a mudança setorial mais significativa e positiva foi a inversão completa do efeito intensidade no sector dos Transportes. Este passou de uma contribuição negativa para a eficiência energética (+10,12 mil toneladas) na primeira década para se tornar um motor de mitigação por via da eficiência (-32,61 mil toneladas) na segunda. Esta inversão de mais de 42 mil toneladas marca uma transição fundamental no desempenho do setor.

O comportamento do setor Residencial apresenta a inversão mais acentuada e adversa. No primeiro período (2004-2011), foi o principal motor de mitigação do município através do Efeito Fator de Emissão (-169,80 mil toneladas). No segundo período (2011-2021), inverteu drasticamente esta tendência, contribuindo com um aumento de +30,55 mil toneladas no mesmo fator. Esta inversão de mais de 200 mil toneladas foi o fator determinante para o colapso do Fator de Emissão agregado.

O setor industrial manteve um desempenho adverso no Efeito Intensidade Energética em ambos os períodos, registando +23,31 mil toneladas (2004-2011) e +10,79 mil toneladas (2011-2021), indicando uma ausência persistente de melhorias de eficiência energética neste setor. Esta trajetória divergente contrasta com a melhoria noutros setores.

O mesmo se aplica ao analisarmos o Fator de Emissão, que à semelhança da capital revela um crescimento de todos os subsectores industriais, evidenciando-se as indústrias transformadoras (+254,91%), revelando-se menos eficiente e mais poluente, presumivelmente pelos fatores referidos no capítulo anterior (tabela 13).

(Sub)Setor	2011-2021
Indústrias Extrativas	34,14
Indústrias Transformadoras	254,91
Construção	21,48

Tabela 13 - Evolução do Fator de Emissão em % (2011-2021). Fonte: autor com base na informação da DGE

6. Discussão de Resultados

Este capítulo constitui o núcleo analítico da presente tese, transitando da análise individual das trajetórias de Lisboa e do Porto para uma discussão comparativa sistemática. O objetivo é testar a hipótese central desta investigação em que, mesmo perante um enquadramento político, legal e financeiro nacional e europeu partilhado, a eficácia das políticas e dos modelos de governação local é o fator determinante que explica as diferenças observadas nas trajetórias de descarbonização.

A análise foca-se no período de 2011 a 2021. Esta década representa um ponto de inflexão crítico, marcando a transição de uma descarbonização exógena para a ação endógena. Nos anos anteriores (2002-2011), ambas as cidades beneficiaram passivamente de políticas nacionais, como a rápida expansão da produção de eletricidade a partir de fontes renováveis, que ajudaram a limpar o fator de emissão do seu consumo elétrico. Contudo, após 2011, com o esgotamento desses ganhos exógenos, a responsabilidade pela mitigação transferiu-se inequivocamente para os municípios, exigindo intervenções locais deliberadas na gestão da procura, na eficiência energética e na mobilidade.

A primeira constatação da análise comparativa não é apenas qualitativa — as cidades usaram políticas diferentes — mas profundamente quantitativa. A escala dos desafios socioeconómicos e a magnitude das respostas de mitigação entre as duas metrópoles são de ordens distintas, um facto que redefine a própria avaliação do seu sucesso. A figura 18 sintetiza graficamente os resultados agregados da decomposição LMDI para o período 2011-2021, condensando os dados das tabelas 7 e 12. Esta tabela serve como a âncora quantitativa para a totalidade da discussão subsequente.

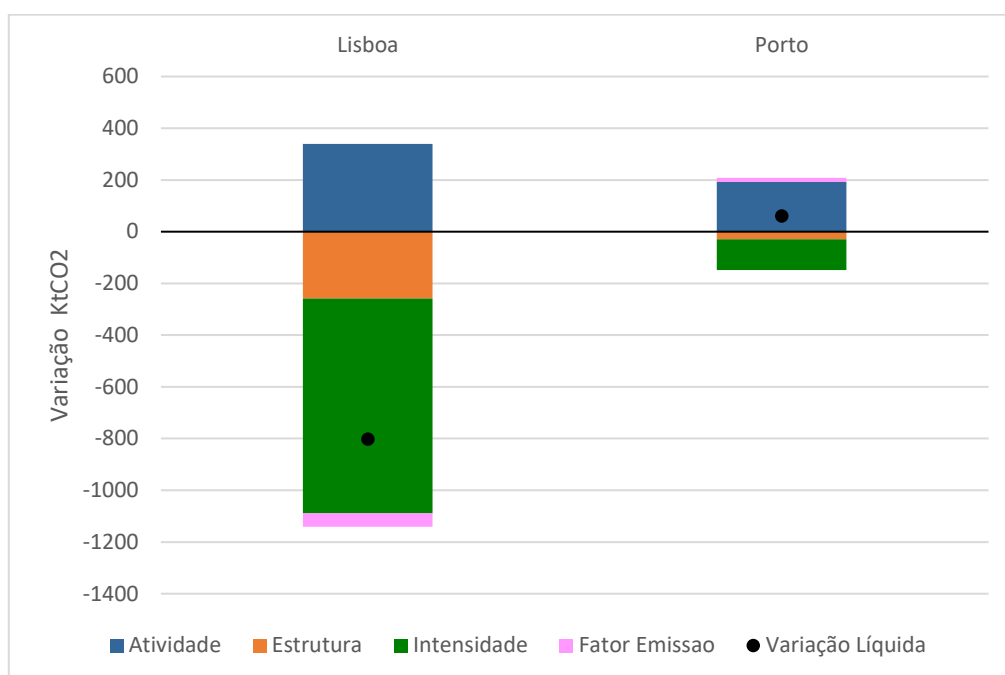


Figura 18 - Variação dos Efeitos do LMDI expressos em KtCO₂ (2011-2021)

A tabela 14 expõe três divergências fundamentais que estruturam esta discussão:

A Desproporção do Desafio: A pressão para o aumento de emissões gerada pelo crescimento da atividade económica (Efeito Atividade) foi exponencialmente superior em Lisboa (+339,30 Kt) do que no Porto (+191,86 Kt).

A Desproporção da Resposta: A magnitude da mitigação alcançada por Lisboa, primariamente através do Efeito Intensidade (-830,84 Kt), é destacável. A capital conseguiu não só anular a sua imensa pressão de crescimento, como gerar uma redução líquida expressiva de mais de 800 KtCO₂.

A Divergência de Paradigma: O Porto não só não conseguiu gerar uma mitigação de escala comparável (o seu principal vetor, a Intensidade, foi 85% inferior ao de Lisboa), como assistiu à reversão de um dos seus vetores de mitigação (o Efeito Fator de Emissão), que se tornou uma fonte líquida de aumento de emissões (+16,82 Kt).

Fator LMDI (2011-2021)	Lisboa (ktCO ₂)	Porto (ktCO ₂)
Efeito Atividade (Pressão)	+339,30	+191,86
Efeito Estrutura (Mitigação)	-258,82	-29,94
Efeito Intensidade (Mitigação)	-830,84	-117,93
Efeito Fator Emissão (Mitigação/Pressão)	-51,30	+16,82
Variação Líquida (Resultado)	-801,66	+60,81

*Tabela 14 - Síntese Comparativa da Decomposição LMDI Agregada para Lisboa e Porto expresso em KtCO₂ (2011-2021).
Fonte: autor com base na informação recolhida da DGEG e Banco de Portugal*

Esta discussão argumentará que estas trajetórias quantitativas validam a hipótese da tese. O modelo de governação de Lisboa — caracterizado como mais centralizado, regulador e tecnocraticamente apoiado (via Lisboa E-Nova e redes como a C40) — provou ser extraordinariamente eficaz na implementação de políticas de gestão da procura endógenas que geram ganhos de eficiência (Efeito Intensidade). Em contrapartida, o modelo do Porto — descrito como mais policêntrico, colaborativo e de vocação metropolitana (via AdEPorto) — revelou-se incapaz de gerir as complexidades técnicas da transição energética no setor difuso (levando à reversão do Fator de Emissão residencial) e foi sobrecarregado pela pressão da sua própria atividade económica (turismo), resultando num fracasso de descarbonização líquida no período.

6.1 O Motor da Mitigação: O Triunfo da Regulação em Lisboa (Efeito Intensidade)

A trajetória de Lisboa no período 2011-2021 foi dominada por um vetor de mitigação principal, o Efeito Intensidade Energética, que, por si só, foi responsável por uma redução de 830,84 KtCO₂. Este resultado expressivo não foi um acontecimento passivo, é a

demonstração quantitativa da transição da cidade para uma posição endógena, onde a governação municipal assumiu o protagonismo na gestão da procura de energia.

O setor dos Transportes é o estudo de caso paradigmático desta transformação. Na década anterior (2002-2011), este setor representava um vácuo de políticas municipais eficazes. A decomposição desse período revela que o setor não prosperou em todas as frentes, o Efeito Intensidade foi positivo (pior eficiência), contribuindo para um aumento de +154,08 Kt, e o Efeito Fator de Emissão foi igualmente positivo (combustíveis mais sujos ou dieselização), acrescentando +277,65 Kt. O setor era, inequivocamente, o principal antagonista da descarbonização da capital.

Contudo, no período 2011-2021, assistiu-se a uma inversão completa. Os resultados da decomposição LMDI (tabela 5) demonstram que o Efeito Intensidade se tornou fortemente negativo (-189,52 Kt) e o Efeito Fator de Emissão também reverteu para um valor negativo (-47,10 Kt). Esta inversão de mais de 668 milhões de toneladas na trajetória do setor (combinando os dois efeitos) não é acidental, está causalmente ligada à maturação do ecossistema de governação climática de Lisboa.

Esta maturação pode ser dissecada em três pilares que designei de braço técnico, braço político e braço externo. O primeiro diz respeito à consolidação da agência Lisboa E-Nova como o braço técnico da política energética da cidade no qual foi fundamental. O trabalho fundacional (Matriz Energética 2005, Estratégia Energético-Ambiental 2008) forneceu a base de dados e a orientação estratégica que permitiram à autarquia desenvolver instrumentos de planeamento mais detalhados, como o Plano de Ação para a Energia Sustentável (PAES, 2012) e a revisão do Plano Diretor Municipal (PDM) de 2012, que foi o primeiro a integrar as alterações climáticas como um eixo central da política urbanística. O segundo relacionado com o Efeito Intensidade negativo (ganhos de eficiência) foi impulsionado por uma combinação de políticas de push (coerção) e pull (incentivo). A principal ferramenta de push foi a implementação faseada das Zonas de Emissões Reduzidas (ZER) (Ferreira, et al., 2015), esta política restringiu a circulação de veículos mais antigos e poluentes (Fase 1 em 2011, Fase 2 em 2012, Fase 3 em 2014/2015), criando um incentivo económico inequívoco para a renovação acelerada da frota. Esta medida foi complementada pela expansão da gestão do estacionamento tarifado (EMEL) (novos regulamentos em

2011/2014 e expansão para novos bairros). Simultaneamente, a autarquia promoveu um forte "pull" para alternativas, a municipalização da Carris (fevereiro de 2017) permitiu novos tarifários (passes gratuitos para crianças e seniores), e o Programa de Apoio à Redução Tarifária (PART) em abril de 2019 que revolucionou os preços, incentivando a transferência modal para o transporte público. A isto somou-se o lançamento do sistema de bicicletas públicas GIRA em setembro de 2017 e a expansão massiva da rede ciclável. Esta abordagem dupla (restringindo o carro inefficiente e promovendo a alternativa) poderá ter impactado diretamente tanto o Efeito Intensidade (menos energia por km) como o Efeito Fator de Emissão (eletrificação e combustíveis mais limpos). Por último a ambição política para implementar medidas regulatórias complexas e por vezes impopulares foi reforçada pela participação de Lisboa em redes transnacionais. A adesão à rede C40 Cities (2019) e a seleção para a Missão da UE para 100 Cidades Inteligentes e com Impacto Neutro no Clima (2022) forneceram apoio técnico, visibilidade e pressão política (accountability) para manter e aprofundar a ação climática.

Embora o setor dos Transportes tenha sido um ator principal, o Efeito Intensidade agregado (-830,84 Kt) foi também significativamente impulsionado por ganhos de eficiência nos setores de Serviços e Residencial. Esta mitigação é indissociável da maturação de políticas nacionais de eficiência energética no edificado, nomeadamente o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) e o RCCTE, que, no período 2011-2021, começaram a gerar retornos mensuráveis na renovação do parque edificado, complementando a ação municipal.

Entre 2002-2011 os valores indicam um encolhimento inefficiente, onde a perda de peso económico do setor não foi acompanhada por ganhos na eficiência, e dependência de combustíveis fósseis (tabela 15). Na década seguinte os valores sugerem que a mitigação foi impulsionada primariamente pela gestão da procura de mudança modal. Esta inversão demonstra a eficácia de políticas regulatórias municipais como as ZER, a gestão do estacionamento e o investimento na rede de transportes públicos.

Fator LMDI	Período 2002-2011	Período 2011-2021
Efeito Intensidade (Eficiência)	+154,08 (Piora)	-189,52 (Melhoria)
Efeito Fator de Emissão (Mix Combustível)	+277,65 (Piora)	-47,10 (Melhoria)

Tabela 15 - A Inversão do Setor de Transportes em Lisboa. Fonte: autor com base na informação recolhida da DGEG e Banco de Portugal

6.2 O Travão da Descarbonização: A "Armadilha da Modernização" no Porto (Efeito Fator de Emissão)

Se a trajetória de Lisboa foi definida por um vetor de mitigação dominante (Intensidade), a do Porto no mesmo período foi marcada por uma falha estrutural num vetor que deveria ser de mitigação, o Efeito Fator de Emissão.

O resultado mais alarmante da decomposição LMDI do Porto (2011-2021) é a reversão deste efeito. No período anterior (2004-2011), o Efeito Fator de Emissão tinha sido um pilar da descarbonização da cidade, contribuindo para uma redução de -143 Kt. No entanto, na década seguinte (2011-2021), a tendência inverteu-se completamente, e este fator passou a contribuir para um aumento líquido de emissões de +16,81 Kt.

A análise setorial (tabela 12) revela que esta inversão agregada é quase inteiramente explicada pela dramática inversão ocorrida no setor Residencial. Este setor, que fora o principal motor de mitigação na primeira década (contribuindo com -169,80 Kt), registou um forte aumento de +30,54 Kt no Efeito Fator de Emissão na segunda década. Esta inversão de mais de 200 Kt foi tão adversa que, por si só, desmoronou os ganhos de descarbonização obtidos noutros setores (como os Serviços, -20,8 kt) e foi a principal responsável por reverter o sinal do Efeito Fator de Emissão agregado.

Este dado sugere uma recarbonização do mix energético residencial, pois segundo os dados da DGEG ocorre um aumento muito significativo de materiais como butano, propano

e mais expressivo gás natural com um aumento na ordem dos 8011.9% passando de aproximadamente 6 TJ para 465 TJ.

Este resultado ganha especial relevância quando se contrasta estes resultados com os de Teives e Bussola (2005) que estudam a evolução dos consumos domésticos de energia em Lisboa e Porto na primeira metade do século XX. Os autores demonstram que uma política de tarifas degressivas de promoção dos consumos domésticos lançada antes a guerra nas duas cidades teve resultados bastante diferentes. Em Lisboa, onde a geração de eletricidade era térmica, a política foi interrompida durante a guerra, devido aos elevados preços dos combustíveis importados, como o carvão e o petróleo. No Porto, onde a produção era hídrica, a política foi continuada levando a um aumento substancial dos consumos de eletricidade durante o conflito face a combustíveis importados e nacionais como a lenha. Isto levou a uma dependência da trajetória, que conduziu a que de 1950 aos anos 2000 o Porto tivesse uma penetração e consumo de eletricidade para cozinha e aquecimento de águas muito superior que em Lisboa, onde se usava gás de cidade (a carvão primeiro, e como derivado da refinação de petróleo após a 2ª guerra). No nosso período, a transição para o gás natural implementada por uma política nacional e catalisada pelos municípios que visava promover a descarbonização dos consumos domésticos, terá tido um efeito inverso do desejado na cidade do Porto, promovendo o gás natural em detrimento da eletricidade e levando a um aumento da poluição..

No primeiro período (2004-2011), os ganhos expressivos (-169,8 kt) deveram-se à substituição de combustíveis muito poluentes (como o carvão ou fuel) por opções de modernização, como a nova rede de Gás Natural. Contudo, no segundo período (2011-2021), o contexto mudou. A rede elétrica nacional continuou a descarbonizar-se a um ritmo acelerado (impulsionada por políticas nacionais como o PNAER - Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis). O Gás Natural, embora mais limpo que o carvão, permanece um combustível fóssil com um fator de emissão fixo. Durante este período assistimos a uma redução de todos os combustíveis, mesmo a eletricidade demonstrou uma redução de 12%. A política local do Porto, focada na expansão da rede de Gás Natural como um vetor de modernização e conforto, incentivou inadvertidamente uma transição perversa, a

substituição de usos energéticos que poderiam ser elétricos (e cada vez mais limpos) pelo Gás Natural (fóssil), ou a manutenção de combustíveis como o butano e o propano (fósseis).

Este fenómeno revela o paradoxo da governação colaborativa. O modelo do Porto, descrito como policêntrico e colaborativo, demonstrou ser eficaz em projetos de grande escala, visibilidade e negociação intermunicipal. Exemplos deste sucesso incluem a integração da vasta rede do Metro do Porto (um projeto metropolitano com profundo impacto municipal desde 2002), a complexa negociação para a inter-municipalização da STCP (efetivada em 2021) e a aposta na requalificação do espaço público através da pedonalização (Rua Mouzinho e Flores em 2014). Iniciativas como o Pacto do Porto para o Clima reforçam esta vocação para a mobilização de stakeholders. No entanto, este modelo focado na colaboração e em infraestruturas não teve o sucesso previsível na tarefa tecnicamente complexa e invisível de gerir o mix energético do setor residencial difuso. Faltou uma entidade com a capacidade de análise técnica centralizada (análoga à Lisboa E-Nova) que identificasse esta tendência de recarbonização adversa e os instrumentos políticos ou de incentivo para a corrigir, provando que a colaboração, por si só, não substitui a regulação e a análise técnica informada resultando nos valores abaixo apresentados na tabela 16.

Vetor LMDI (Fator de Emissão)	Período 2004-2011	Período 2011-2021
Efeito Fator de Emissão	-143,00 (Mitigação)	+16,81 (Aumento de Emissões)
Efeito Setor Residencial (Causa Principal)	-169,80 (Mitigação)	+30,55 (Aumento de Emissões)

Tabela 16 - A Reversão do Efeito Fator de Emissão no Porto expresso em Kt CO₂. Fonte: autor com base na informação recolhida da DGE e Banco de Portugal

6.3 A Pressão Socioeconómica: O Crescimento Desacoplado (Lisboa) vs. Acoplado (Porto)

O Efeito Atividade, que quantifica a pressão sobre as emissões resultante do crescimento económico (VAB), foi a principal força antagónica à descarbonização em ambas as cidades. No entanto, a escala desta pressão e, mais importante, a capacidade de resposta das cidades a ela, foram radicalmente diferentes.

Lisboa enfrentou uma pressão de crescimento económico (+339,30 Kt) que foi mais de 1700 vezes superior à registada no Porto (+191,86 Kt). Apesar desta pressão significativa, a resposta política de Lisboa, alavancada pelo Efeito Intensidade (-830,84 Kt), foi tão esmagadora que não só neutralizou todo o crescimento como produziu uma redução líquida massiva. Este é um exemplo clássico de forte desacoplamento, onde o crescimento do VAB ocorre em simultâneo com a diminuição absoluta das emissões, um padrão alinhado com a literatura sobre economias de serviços avançadas que investem em eficiência.

O Porto apresenta a narrativa oposta. A pressão do Efeito Atividade (+191,86 Kt), embora modesta em termos absolutos, foi suficiente para anular os ganhos igualmente modestos da mitigação (Efeito Intensidade de -117,93 Kt e Efeito Estrutura de -29,94 Kt). Agravada pela já discutida reversão do Efeito Fator de Emissão (+16,81 Kt), a atividade económica do Porto impulsionou um aumento líquido das emissões totais da cidade no período (tabela 17).

A análise setorial do Porto identifica a origem desta pressão. O boom turístico (as dormidas mais do que duplicaram entre 2009 e 2015, e continuaram a crescer até 2019) e a emergência de novos serviços de mobilidade (como os TVDE) traduziram-se diretamente no Efeito Atividade dos setores de Transportes (+73,02 Kt) e Transporte Doméstico (+64,25 Kt).

Aqui reside o segundo ponto menos positivo da governação do Porto. O sucesso económico da cidade tornou-se o seu obstáculo climático. É importante notar que o Porto, tal como Lisboa, beneficiou do Programa de Apoio à Redução Tarifária (PART) a partir de 2019, que visava incentivar o uso do transporte público. No entanto, os dados da decomposição (a pressão do Efeito Atividade de +73,02 Kt nos Transportes) sugerem que

este incentivo tarifário nacional foi insuficiente, por si só, para neutralizar o impacto esmagador do crescimento ligado ao turismo. Como este crescimento ocorreu em paralelo com uma falha na descarbonização do mix energético (a falha do Fator de Emissão), o resultado foi um acoplamento emissões-crescimento (Emissions-Growth Coupling). A governação colaborativa do Porto—focada em grandes projetos de infraestrutura (Metro), gestão intermunicipal (STCP) e requalificação do espaço público (pedonalização)—não conseguiu, impor as medidas regulatórias coercivas (como as ZER de Lisboa ou a municipalização da gestão do estacionamento) que teriam sido necessárias para desacoplar esta nova prosperidade económica da sua consequente pegada de carbono, nem capitalizou plenamente programas nacionais de apoio como o Mobi.e.

De acordo com Pablo-Romero et al. (2023) ao analisar os 15 países com maior número de chegadas entre 2000-2019, a relação positiva entre o turismo e o consumo de energia explica-se principalmente pelo aumento da população residente nos destinos turísticos, e não apenas pelos gastos diretos dos visitantes. No seu artigo diante da previsão de que o fluxo de turistas em 2024 supere os níveis anteriores à pandemia, prevê, consequentemente, um aumento no consumo total de energia nesses países. Para que o setor continue a crescer sem comprometer a descarbonização, torna-se essencial investir em energias renováveis e implementar tecnologias que reduzam o consumo individual de energia por turista. No entanto, os autores alertam que esses ganhos de eficiência tecnológica precisam avançar mais rapidamente do que a chegada de novos visitantes, exigindo políticas públicas fortes e eficazes para garantir que a economia de energia seja real.

Cidade	Efeito Atividade (Pressão Económica)	Efeito Intensidade (Mitigação/Eficiência)	Resultado
Lisboa	+339,28	-830,84	Forte Desacoplamento
Porto	+191,86	-117,93	Acoplamento Emissões-Crescimento

Tabela 17 - Análise Comparativa do Desacoplamento exposto em Kt CO₂ (2011-2021). Fonte: autor com base na informação recolhida da DGEG e Banco de Portugal

6.4 O Ponto Cego da Governação Local: A Falha Partilhada na Indústria

Embora as trajetórias de Lisboa e Porto tenham divergido significativamente nos setores difusos (Transportes e Residencial), elas convergem numa anomalia partilhada e preocupante, o setor da Indústria. Em ambas as cidades, no período 2011-2021, o setor industrial não só não contribuiu para a mitigação, como ativamente aumentou as emissões através de uma piora dos seus indicadores de eficiência e de intensidade carbónica.

Os dados da decomposição LMDI para 2011-2021 são inequívocos. Em Lisboa o setor industrial registou um Efeito Intensidade positivo de +33,70 Kt e um Efeito Fator de Emissão igualmente positivo de +32,05 Kt. No Porto o setor industrial registou um Efeito Intensidade positivo de +10,79 Kt (tabela 18).

Um Efeito Intensidade positivo significa que a indústria remanescente passou a consumir mais energia por unidade de VAB (pior eficiência). Um Efeito Fator de Emissão positivo significa que o mix energético usado se tornou mais poluente (mais intensivo em carbono). Esta conclusão é corroborada pela análise do fator de emissão das Indústrias Transformadoras, que registou um agravamento de 221,45% no período.

A explicação para este resultado partilhado, transcende a governação local e reside em dinâmicas macroeconómicas. O período em análise (2011-2021) inicia-se ainda com consequências da crise financeira de 2008 e no auge das políticas de austeridade. Neste contexto as empresas industriais, sob forte pressão económica, tendem a cortar drasticamente o investimento em capital. Isto levou a um adiamento de investimentos em maquinaria nova e mais eficiente, resultando numa degradação da eficiência energética média do parque industrial. Simultaneamente, para reduzir custos operacionais e manter a competitividade, as empresas foram incentivadas a substituir fontes de energia mais limpas, mas mais caras (como a eletricidade) por combustíveis mais baratos e poluentes (como o fuelóleo ou o coque).

Este reflexo partilhado revela os limites da ação da governação urbana. A política climática industrial é, em grande medida, dominada por mecanismos nacionais e supranacionais (como o Regime Comunitário de Licenças de Emissão da UE (RCLE-UE), ou EU-ETS) e por pressões de competitividade macroeconómica. Nem o modelo regulador

de Lisboa nem o modelo colaborativo do Porto demonstraram ter capacidade, jurisdição ou instrumentos para intervir e reverter esta tendência industrial, que contraria diretamente os objetivos nacionais de eficiência energética (como o PNAEE).

Cidade	Efeito Intensidade (Piora da Eficiência)
Lisboa	+33,70 KtCO ₂
Porto	+10,79 KtCO ₂

Tabela 18 - Resultado Comum de Eficiência no Setor Industrial expresso em Kt CO₂ (2011-2021). Fonte: autor com base na informação recolhida da DGEG e Banco de Portugal

7. Conclusão

A presente dissertação partiu de uma questão central: como é que Lisboa e o Porto, partilhando um enquadramento político e legal idêntico, produziram trajetórias de descarbonização radicalmente opostas entre 1995 e 2023? A resposta, validada pela decomposição quantitativa LMDI, é inequívoca, a governação local não é um ator neutro, é o mecanismo diferenciador primário. Lisboa demonstrou a eficácia superior de um modelo centralizado-regulatório. Apoiada por um braço técnico robusto e focado (Lisboa E-Nova), e políticas autárquicas para forçar um desacoplamento massivo (-830,8ktCO₂ via Efeito Intensidade) no seu setor mais crítico (Transportes). Este modelo permitiu-lhe superar uma imensa pressão de crescimento económico e alcançar uma redução líquida de emissões de mais de 800 ktCO₂ na última década. O Porto, por outro lado, exemplificou os perigos de um modelo colaborativo-policêntrico que carece de supervisão técnica centralizada. Embora eficaz na mobilização de stakeholders (Pacto do Porto para o Clima), este modelo não prosperou em detetar e corrigir uma transição menos positiva no setor residencial. A cidade modernizou-se com a promoção contínua do gás natural – uma política outrora virtuosa – que se veio a revelar um vetor de recarbonização (+30,5ktCO₂ no Efeito Fator de Emissão residencial) num contexto de rápida limpeza da rede elétrica. Esta falha técnica foi suficiente para anular os ganhos de mitigação da cidade, resultando num aumento líquido das emissões (+60,8ktCO₂). A hipótese central da tese é, assim, validada e refinada. Os fatores endógenos – cultura institucional, capacidade técnica e agência política – são, de facto, os mediadores críticos que determinam o sucesso ou o fracasso da transição energética urbana, dentro dos limites da jurisdição municipal.

Esta investigação oferece dois contributos principais para a literatura académica. Primeiro, para a literatura de transições urbanas, a tese contribui significativamente ao abordar a lacuna geográfica e contextual dos estudos focados no Norte da Europa. Demonstra que, no contexto do Sul da Europa – marcado por legados institucionais distintos e pela volatilidade macroeconómica (austeridade) – os modelos de governação importados (colaboração bottom-up) podem ser menos eficazes do que modelos regulatórios top-down mais fortes e tecnicamente informados. O sucesso de Lisboa sugere que, em certos

contextos, a regulação coerciva é uma alavanca de descarbonização mais eficaz do que o consenso colaborativo. Segundo, para a teoria da governação multinível, o estudo demonstra os limites claros da governação local. O fracasso partilhado no setor industrial ilustra um ponto cego entre Lisboa e Porto. A descarbonização industrial permanece refém de políticas nacionais (PNAEE), regimes supranacionais (EU-ETS) e, como demonstrado, de choques macroeconómicos exógenos.

As conclusões desta tese geram implicações diretas para os decisores políticos urbanos. A principal lição é o aviso contra políticas de path dependency, ou a “armadilha” da modernização. A promoção do gás natural no Porto serve de lição, uma solução de transição de uma década é um obstáculo fóssil na década seguinte. As políticas de infraestrutura energética devem ser dinâmicas e reavaliadas anualmente à luz da rápida descarbonização da rede elétrica. Adicionalmente, a eficácia da regulação é revalidada pelo sucesso de Lisboa, que demonstrou a regulação direta (como as ZERs) como a ferramenta mais rápida para a descarbonização dos transportes urbanos, superando em muito os efeitos de políticas puramente baseadas em incentivos ou colaboração. Finalmente, a colaboração necessita de capacidade técnica. O modelo do Porto revelou-se incompleto. A implicação é que os modelos colaborativos devem investir na criação de entidades técnicas independentes, robustas e com foco municipal (como a Lisboa E-Nova) para evitar falhas estratégicas.

Esta tese, apesar dos seus resultados, enfrenta limitações que abrem caminhos para investigações futuras. A primeira limitação é o foco da metodologia LMDI nas emissões territoriais (Baseadas na Produção) e a não avaliação dos valores da eletricidade. Esta é uma limitação significativa para cidades como Lisboa e Porto, cujas economias são dominadas pelo turismo e serviços. As emissões de voos internacionais, bens importados e cadeias de abastecimento do turismo não são contabilizadas. Por isso, uma investigação futura prioritária deve aplicar uma metodologia de Análise de Emissões Baseadas no Consumo (CBE) para determinar a pegada de carbono real destas metrópoles. É provável que um modelo CBE revele que o desacoplamento de Lisboa é, em parte, uma externalização de emissões, uma hipótese já levantada por Ferrão e Cunha (2023). A segunda limitação é a inferência de causalidade, embora a tese estabeleça uma correlação entre os modelos de governação e os resultados quantitativos, a análise causal permanece inferencial. Por último,

a grande divergência sugere que nem o modelo puramente regulatório nem o puramente colaborativo são ótimos. A investigação futura deve, conseqüentemente, focar-se em modelos de governação híbridos, como podem as cidades criar estruturas que combinem a legitimidade e a mobilização da governação colaborativa (ex: Pacto do Porto) com o rigor analítico e a capacidade regulatória da governação centralizada (ex: Lisboa E-Nova)? Esta é a questão central para a próxima fase da transição energética urbana em Portugal.

8. Bibliografia

- AdEPorto. (2021). *Plano de Ação para a Energia Sustentável do Município do Porto 2030*. Porto: Câmara Municipal do Porto.
- AdEPorto. (2022). *Porto Solar*. Obtido de AdEPorto: <https://www.adeporto.eu/pt/projetos/porto-solar/>
- AdEPorto. (s.d.). *Quem somos*. Obtido de Agência de Energia do Porto: <https://www.adeporto.eu/pt/adeporto-1/quem-somos/>
- Alves, M., & Moutinho, V. (2013). Decomposition analysis for energy-related CO2 emissions intensity over 1996-2009 in Portuguese Industrial Sectors. *Working Paper -CEFAGE*, 1-26.
- Amorim, E. (2014). Sustainable Energy Action Plans: Project Management Intercomparison. *Procedia Technology*, 1183-1189.
- Ang, B. (2005). The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide. *Energy Policy*, 867-871.
- APA. (06 de 03 de 2024). *Lei de Bases do Clima*. Obtido de <https://apambiente.pt/clima/lei-de-bases-do-clima>
- APA. (2024). *Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030*. Portugal: Assembleia da República.
- Área Metropolitana de Lisboa. (2023). *Plano Metropolitano de Adaptação às Alterações Climáticas*. Lisboa.
- Área Metropolitana do Porto. (2016). *Plano de Ação de Mobilidade Urbana Sustentável da Área Metropolitana do Porto*. Área Metropolitana do Porto.
- Azevedo, I., & Leal, V. (2021). Decomposition Analysis of the Evolution of the Local Energy System as a Tool to Assess the Effect of Local Actions: Methodology and Example of Malmö, Sweden. *Energies*, 681-690.
- Balsas, C. (2020). A Study of Porto's Polycentric Metropolitan Development and Governance at the Turn of the Millennium. *International Journal of Regional and Local History*, 131-145.
- Bayer, P., & Aklin, M. (2020). The European Union Emissions Trading System reduced CO2 emissions despite low prices. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 8804-8812.
- Berghmans, N. (2022). *Fit for 55 package: analysis of the distributional impact on European households of energy pricing in buildings and transport*. França: IDDRI.
- Bianco, V., Cascetta, F., & Nardini, S. (2024). Analysis of the carbon emissions trend in European Union. A decomposition and decoupling approach. *Science of The Total Environment*, 641-651.

- Câmara Municipal de Lisboa. (2005). *Planeamento Lisboa: O Desafio da Mobilidade*. Lisboa: Câmara Municipal de Lisboa.
- Câmara Municipal do Porto. (2010). *Plano de Acção para a Energia Sustentável da Cidade do Porto*. Porto.
- Câmara Municipal do Porto. (2025). *Plano Municipal de Ação Climática do Porto 2030*. Porto: Câmara Municipal do Porto.
- Câmara Municipal do Porto. (s.d.). *Agenda 21 Local*. Obtido de Porto.: <https://ambiente.cm-porto.pt/ambiente/agenda-21-local>
- Câmara Municipal do Porto. (s.d.). *Plano Diretor Municipal PDM 1993*. Obtido de Porto.: https://www.cm-porto.pt/os_planos_do_porto/pdm-1993-porto-projeto-cidade-nova
- Câmara Municipal do Porto. (s.d.). *Produção*. Obtido de Porto Ambiente: <https://ambiente.cm-porto.pt/energia/producao>
- Carvalho, A., Schmidt, L., Santos, F., & Delicado, A. (2014). Climate change research and policy in Portugal. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 199-213.
- CML-DMAEVCE, CML-DAEAC, Lisboa E-Nova. (2021). *Plano de Ação Climática Lisboa 2030*. Lisboa.
- Comissão Europeia. (2011). *Roteiro de transição para uma economia hipocarbónica competitiva em 2050*. Bruxelas.
- Comunidade Europeia. (2002). *Decisão do Conselho relativa à aprovação, em nome da Comunidade Europeia, do Protocolo de Quioto da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as alterações climáticas e ao cumprimento conjunto dos respectivos compromissos*. Jornal Oficial das Comunidades Europeias .
- Conselho de Ministros. (29 de setembro de 1994). *Resolução do Conselho de Ministros n.º 94/94*. Lisboa: Diário da República, 1.ª série, n.º 226.
- Covenant of Mayors . (2010). *SUSTAINABLE ENERGY ACTION PLAN PORTO*. Porto.
- Davidson, K., Coenen, L., & Gleeson, B. (2019). A Decade of C40: Research Insights and Agendas for City Networks. *Global Policy*, 697-708.
- Decreto-Lei n.º 113/2003. (4 de junho de 2003). *Diário da República, 1.ª série-A, n.º 129*.
- Decreto-Lei n.º 56/2012. (12 de março de 2012). *Diário da República, 1.ª série, n.º 51*.
- Departamento Municipal de Planeamento e Gestão Ambiental. (2025). *Plano Municipal de Ação Climática do Porto 2030*. Porto: CM do Porto.
- DGEG. (s.d.). *Edifícios*. Obtido de Direção Geral de Energia e Geologia: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/edificios/>
- Elliot, T., Almenar, J., & Rugani, B. (2020). Impacts of policy on urban energy metabolism at tackling climate change: The case of Lisbon. *Journal of Cleaner Production*, 1-10.

- Energy Cities. (2019). *Just energy transition fund briefing*. Energy Cities.
- European Comission. (2020). *European Green Capital 2020*. Luxemburgo.
- European Commission. (2019). *The European Green Deal*. Obtido de https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- European Environment Agency. (2011). *Portugal country case study - BLOSSOM: Support to analysis for long-term governance and institutional arrangements*. Copenhagen.
- European Environment Agency. (2022). *Trends and projections in Europe*. European Union.
- Falkner, R. (2016). The Paris Agreement and the new logic of international climate politics. *International Affairs*, 1107-1125.
- Felício, L., Henriques, S., Guevara, Z., & Sousa, T. (2024). From electrification to decarbonization: Insights from Portugal's experience (1960–2016). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1-18.
- Fernandes, J. (2018). *Plano de Ação para a Energia Sustentável e Clima*. Lisboa: CM Lisboa.
- Ferrão, P., & Cunha, S. (2023). Urban Metabolism Characterization from the National to the Regional Scale: A Case Study of Lisbon. *Environments*, 1-16.
- Ferrão, P., Rosado, L., Niza, S., & IST/IN. (2004). *Matriz dos Materiais de Lisboa*. Lisboa: Lisboa E-Nova.
- Ferreira, F., Gomes, P., Tente, H., Carvalho, A., Pereira, P., & Monjardino, J. (2015). Air quality improvements following implementation of Lisbon's Low Emission Zone. *Atmospheric Environment*, 373-381.
- Fidélis, T., & Pires, S. (2009). Surrender or resistance to the implementation of Local Agenda 21 in Portugal: the challenges of local governance for sustainable development. *Journal of Environmental Planning and Management*, 497-518.
- Fundação Calouste Gulbenkian. (2015). Setor do Turismo. Em *Uma Metrópole para o Atlântico* (pp. 367-374). Lisboa: Fundação Gulbenkian.
- Garrido, L. (20 de 12 de 2023). *Porto talks climate*. Obtido de Euro Cities: <https://eurocities.eu/stories/porto-talks-climate/>
- Henriques, S., & Borowiecki. (2017). The drivers of long-run CO2 emissions in Europe, North America and Japan since 1800. *Energy Policy*, 537-549.
- Henriques, S., & Bussola, D. (2005). O Consumo Doméstico de Energia. Em *A História da Energia* (pp. 115-140). Lisboa: Livros Horizonte.
- Huang, Y., Qader, M., Zhou, J., & Zhang, X. (2024). Prediction and Path Planning Framework of X City's Carbon Emissions Based on the Long Short-Term Memory Network Model. *Polish Journal of Environmental Studies*, 1-14.
- IEA. (2021). *Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector*. IEA.

- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. UK: Cambridge University Press.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2018). Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. IPCC
- Junod, A., Tarnaghan, S., Fu, S., & Hewes, V. (2024). *Planning for Equitable Decarbonization: Opportunities for Community Planners and Stakeholders*. Washington: Urban Institute.
- Kern, K., & Alber, G. (2008). Governing climate change in cities: modes of urban climate governance in multi-level systems. *Competitive Cities and Climate Change*, 1-198.
- Kirikaleli, D., Awosusi, A., Adebayo, T., & Otrakçı, C. (2023). Enhancing environmental quality in Portugal: can CO2 intensity of GDP and renewable energy consumption be the solution? *Environmental Science and Pollution Research*, 53796-53806.
- Lisboa E-Nova. (2008a). *Estratégia Energético-Ambiental para Lisboa*. Lisboa: Lisboa E-Nova.
- Lisboa E-Nova. (2008b). *PNAEE – Resolução Conselho de Ministros n.º 80/2008*. Lisboa: Lisboa E-Nova.
- Lisboa E-Nova. (2018). *DA PROPOSTA DE PLANO DE AÇÃO PARA AS ENERGIAS SUSTENTÁVEIS E O CLIMA (PAESC)*. Lisboa: Câmara Municipal de Lisboa.
- Lisboa E-Nova. (2024). *Lisbon Climate City Contract 2030*. Lisboa: Lisboa E-Nova.
- Liu, Y., Jiang, Y., Liu, H., Li, B., & Yuan, J. (2022). Driving factors of carbon emissions in China's municipalities: a LMDI approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 21789-21802.
- Luo, X., Dong, L., Dou, Y., Li, Y., Liu, K., Ren, J., . . . Mai, X. (2017). Factor decomposition analysis and causal mechanism investigation on urban transport CO2 emissions: Comparative study on Shanghai and Tokyo. *Energy Policy*, 658-668.
- Luo, X., Yuan, Y., Dou, Y., Bian, W., & Wei, X. (2024). Factor decomposition analysis of urban transport CO2 emissions in Chinese mega cities: case study of Beijing, Shanghai, Guangzhou and Shenzhen. *Environment, Development and Sustainability*.
- Martins, F., Moura, P., & Almeida, A. (2022). The Role of Electrification in the Decarbonization of the Energy Sector in Portugal. *Energies*, 1-35.
- Mayors. (09 de 2022). *Porto driving societal changes and bringing everyone on board*. Obtido de Local Climate Pacts: <https://eu-mayors.ec.europa.eu/sites/default/files/2022-10/eumayors-case%20study-%20Porto-2022-EN-3.pdf>
- Metro do Porto. (17 de outubro de 2023). *Quatro novas linhas no projeto Metro 3.0*. Obtido de Metro do Porto: https://www.metrodoporto.pt/pages/771?news_id=488
- Metro do Porto. (23 de 07 de 2025). *Extensão da Linha Amarela com 1,7 milhões de clientes no primeiro ano*. Obtido de https://www.metrodoporto.pt/pages/834?news_id=572

- Monteiro, A. (2017). *Plano Metropolitano de Adaptação às Alterações Climáticas*. Porto: Área Metropolitana do Porto.
- O'Mahony, T., Zhou, P., & Sweeney, J. (2012). The driving forces of change in energy-related CO₂ emissions in Ireland: A multi-sectoral decomposition from 1990 to 2007. *Energy Policy*, 256-267.
- Pablo-Romero, M., Sánchez-Braza, A., & García-Soto, A. (2023). The Impact of Tourism on Energy Consumption: A Sectoral Analysis for the Most Visited Countries in the World. *Economies*.
- Pacto do Porto para o Clima. (12 de fevereiro de 2024). *STCP reforça frota com 48 novas viaturas 100% elétricas*. Obtido de Porto.:
<https://pactoparaoclima.portodigital.pt/?p=14707#:~:text=12/02/2024.%20Com%20a%20entrada%20em%20circula%C3%A7%C3%A3o%20de,continuidade%20%C3%A0%20estrat%C3%A9gia%20adotada%20que%20tem%20como>
- Papież, M., Śmiech, S., & Frodyma, K. (2021). The role of energy policy on the decoupling processes in the European Union countries. *Journal of Cleaner Production*.
- Peña, I., Azevedo, I., & Ferreira, L. (2017). Lessons from wind policy in Portugal. *Energy Policy*, 193-202.
- Pereira, A., & Pereira, R. (2016). Reducing carbon emissions in Portugal: the relative roles of fossil fuel prices, energy efficiency, and carbon taxation. *Journal of Environmental Planning and Management*, 1825-1852.
- Pernas, J. (2008). *Política Ambiental de Portugal*. Espanha: Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado.
- Porto Ambiente. (21 de 09 de 2023). *Pacto do Porto para o Clima assinala um ano com mais de 600 subscritores*. Obtido de Porto Ambiente:
<https://www.portoambiente.pt/noticias/pacto-do-porto-para-o-clima-assinala-um-ano-com-mais-de-600-subscritores>
- Porto. (s.d.). *Pacto*. Obtido de Pacto do Porto para o Clima:
https://pactoparaoclima.portodigital.pt/?page_id=5708
- Queirós, M. (2002). Environmental public policies in Portugal. *Finisterra*, 33-59.
- Revi, A., & Satterthwaite, D. (2014). *Urban Areas. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. United Kingdom and New: Cambridge University Press.
- Ribeiro, D. (2019). *LEGADO MINEIRO DA BACIA CARBONÍFERA DO DOURO Permanências de um Sistema em transformação*. Porto: CEAU-FAUP.
- Rivas, S., Melica, G., Kona, A., Zancanella, P., Serrenho, T., Iancu, A., . . . Bertoldi, P. (2015). *The Covenant of Mayors: In-depth Analysis of Sustainable Energy Actions Plans*. European Commission.

- Seto, K., & Dhakal, S. (2014). *Human Settlements, Infrastructure and Spatial Planning*. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. United Kingdom and New York: Cambridge University Press, Cambridge.
- Stockdale, C., & Avdikos, V. (2025). Transformative social innovation and rural collaborative workspaces: assembling community economies in Austria and Greece. *Open Research Europe*.
- Tu, M., Li, Y., Bao, L., Wei, Y., Orfila, O., Li, W., & Gruyer, D. (2019). Logarithmic Mean Divisia Index Decomposition of CO₂ Emissions from Urban Passenger Transport: An Empirical Study of Global Cities from 1960–2001. *Sustainability*.
- UN-Habitat. (2022). *Envisaging the Future of Cities*. United Nations Human Settlements Programme.
- Wang, C., Zhang, X., Wang, F., Lei, J., & Zhang, L. (2015). Decomposition of energy-related carbon emissions in Xinjiang and relative mitigation policy recommendations. *Front Earth Sci*, 65-76.
- Wiener, J., & Felgenhauer, T. (2024). The Evolving International Climate Change Regime: Mitigation, Adaptation, Reflection. *School of Law Texas A&M University*, 451-485.
- Xia, Q., Wang, H., Liu, X., & Pan, X. (2021). Drivers of global and national CO₂ emissions changes 2000–2017. *Climate Policy*, 604-615.
- Yu, X., Liang, Z., Fan, J., Zhang, J., Luo, Y., & Zhu, X. (2021). Spatial decomposition of city-level CO₂ emission changes in Beijing-Tianjin-Hebei. *Journal of Cleaner Production*, 1-12.

Anexos

I - Cronologia dos marcos políticos

Período/Ano	Nível Global (ONU/IPCC)	Nível Europeu (UE)	Nível Nacional (Portugal)	Ação Relevante (Lisboa e Porto)
1994			Programa de Energia – diversificação e redução da dependência do petróleo, com promoção da eletricidade e gás natural	
1995	COP1 em Berlim reconhece a necessidade de compromissos mais ambiciosos.	A Áustria, Finlândia e Suécia aderem à EU.	-	-
1997	Protocolo de Quioto adotado na COP3, estabelecendo metas vinculativas para países desenvolvidos.	Tratado de Amesterdão assinado, conferindo novas competências à EU.	-	-
1997			Início das importações de gás natural da Argélia através de gasoduto e adopção do Protocolo de Quioto	
2000	-	Estabelecimento do Programa Europeu para as Alterações Climáticas (PEAC).	-	-
2001	Acordos de Marraquexe	Diretiva para a promoção de	Lançamento do primeiro Programa	-

	(COP7) definem as regras de implementação de Quioto.	eletricidade a partir de fontes renováveis.	Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC 2001) e do Programa E4 para a eficiência energética.	
2002	-	-	Portugal ratifica o Protocolo de Quioto.	-
2004	-	-	Aprovação do PNAC 2004, reforçando as medidas de mitigação.	-
2005	Protocolo de Quioto entra em vigor após ratificação da Rússia.	Lançamento do Regime Comunitário de Licenças de Emissão da UE (RCLE-UE / EU-ETS).	Aprovação da Estratégia Nacional de Energia (ENE) e do Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão (PNALE).	-
2006	-	-	Criação do Fundo Português de Carbono e aprovação do Regulamento para as Características Térmicas dos Edifícios (RCCTE).	-
2008	-	Lançamento do Pacto de Autarcas (Covenant of Mayors), mobilizando as cidades para a ação climática.	Lançamento do Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE).	Porto adere ao Pacto de Autarcas.
2009	Acordo de Copenhaga (COP15) estabelece a meta	-	Aprovação da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e	-

	política de limitar o aquecimento a 2°C.		lançamento do programa de mobilidade elétrica Mobi.e.	
2010	-	-	Aprovação do Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER).	-
2011	Plataforma de Durban (COP17) lança o processo para um novo acordo universal.	Apresentação do Roteiro Europeu Baixo Carbono 2050.	-	-
2014	-	-	Introdução da Lei da Tributação Verde.	-
2015	Acordo de Paris adotado na COP21, com um sistema de Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs).	Lançamento da estratégia da União da Energia e da Ação Climática.	Aprovação do Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC) 2020/2030.	Lisboa e Porto aderem ao novo Pacto de Autarcas para o Clima e Energia.
2019	-	Apresentação do Pacto Ecológico Europeu (European Green Deal).	Aprovação do Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC 2050).	Lisboa adere à rede C40 Cities.
2020	-	-	Aprovação do Plano Nacional de Energia e Clima 2030 (PNEC 2030) e do Plano Nacional do Hidrogénio (EN-H2).	-
2021	Pacto Climático de Glasgow (COP26)	Lei Europeia do Clima torna a	Lei de Bases do Clima (Lei n.º	Lisboa aprova o Plano de Ação

	reforça a meta de 1,5°C.	neutralidade em 2050 legalmente vinculativa; Pacote "Fit for 55" proposto.	98/2021) aprovada, tornando os planos climáticos municipais obrigatórios.	Climática (PAC) 2030 ; Porto lança o Pacto do Porto para o Clima.
2022	Relatório do IPCC (AR6 WGII) destaca os impactos severos e os riscos urbanos.	-	-	Lisboa e Porto são selecionadas para a Missão da UE para 100 Cidades Inteligentes e com Impacto Neutro no Clima até 2030.
2023	-	-	Apresentação da proposta de revisão do PNEC 2030 para consulta pública, com metas mais ambiciosas.	-

Tabela 19 - Principais Políticas. Fonte: Adaptado Felício et al. (2024)

Anexo II

Ano	Produtos energéticos	Unidade	tep	GJ
2001	Gás Natural (PCi)	10 ³ Nm ³	0,935	39,15
2002	Gás Natural (PCi)	10 ³ Nm ³	0,929	38,91
2003	Gás Natural (PCi)	10 ³ Nm ³	0,926	38,76
2004	Gás Natural (PCi)	10 ³ Nm ³	0,931	38,97
2005	Gás Natural (PCi)	10 ³ Nm ³	0,923	38,62
2006	Gás Natural (PCi)	10 ³ Nm ³	0,923	38,63
2007	Gás Natural (PCi)	10 ³ Nm ³	0,922	38,58
2008	Gás Natural (PCi)	10 ³ Nm ³	0,922	38,60
2009	Gás Natural (PCi)	10 ³ Nm ³	0,926	38,77
2010	Gás Natural (PCi)	10 ³ Nm ³	0,925	38,72
2011	Gás Natural (PCi)	10 ³ Nm ³	0,926	38,78
2012	Gás Natural (PCi)	10 ³ Nm ³	0,922	38,59
2013	Gás Natural (PCi)	10 ³ Nm ³	0,918	38,42
2014	Gás Natural (PCi)	10 ³ Nm ³	0,904	37,84
2015	Gás Natural (PCi)	10 ³ Nm ³	0,913	38,24
2016	Gás Natural (PCi)	10 ³ Nm ³	0,913	38,20
2017	Gás Natural (PCi)	10 ³ Nm ³	0,918	38,43
2018	Gás Natural (PCi)	10 ³ Nm ³	0,924	38,69
2019	Gás Natural (PCi)	10 ³ Nm ³	0,921	38,56
2020	Gás Natural (PCi)	10 ³ Nm ³	0,921	38,54
2021	Gás Natural (PCi)	10 ³ Nm ³	0,916	38,36
2022	Gás Natural (PCi)	10 ³ Nm ³	0,911	38,13
2023	Gás Natural (PCi)	10 ³ Nm ³	0,907	37,97

Tabela 20 - Dados de Conversão Gás Natural (2001-2023)

Anexo III

Ano	Produtos energéticos	Unidade	tep	GJ
	Derivados do petróleo (PCI)			
1995-2006	GPL (Butano, Propano e Gás Auto)	ton	1,130	47,31
	Gasolinas (super, s/ chumbo)	ton	1,070	44,80
	Petróleos (iluminante e carburante)	ton	1,045	43,75
	Gasóleos (rodoviário e coloridos)	ton	1,035	43,33
	Fuelóleo	ton	0,960	40,19
	Energia Elétrica	GWh	86	3600

2007-2020	GPL (Butano, Propano e Gás Auto)	ton	1,099	46,00
	Gasolinas (aditivada, s/ chumbo)	ton	1,051	44,00
	Petróleos (iluminante e carburante)	ton	1,045	43,75
	Gasóleos (rodoviário e coloridos)	ton	1,018	42,60
	Fuelóleo	ton	0,955	40,00
	Solventes	ton	1,041	43,60
	Parafinas	ton	0,955	40,00
	Asfaltos	ton	0,932	39,00
	Lubrificantes	ton	1,003	42,00
	Energia Elétrica	GWh	86	3600

2021-2023	GPL (Butano, Propano e Gas Auto)	ton	1,099	46,00
	Gasolina (100% de origem fóssil)	ton	1,051	44,00
	Petróleo (iluminante e carburante)	ton	1,045	43,75
	Gasóleo rodoviário com biodiesel	ton	1,014	42,46
	Gasóleo (100% de origem fóssil)	ton	1,027	43,00
	Fuelóleo	ton	0,955	40,00
	Solventes	ton	1,041	43,60
	Parafinas	ton	0,955	40,00
	Asfaltos	ton	0,932	39,00
	Lubrificantes	ton	1,003	42,00
	Energia Elétrica	GWh	86	3600

Tabela 21 - Dados de Conversão de Produtos Petrolíferos (1995-2023)

Anexo IV

Fuel type English description	Default carbon content (kg/GJ)	Default carbon oxidation factor	Effective CO ₂ emission factor (kg/GJ) ²		
			Default value ³ C=A*B*44/ 12*1000	95% confidence interval	
	A	B		Lower	Upper
Motor Gasoline	18,90	1,00	69,30	67,50	73,00
Crude Oil	20,00	1,00	73,30	71,10	75,50
Gas/Diesel Oil	20,20	1,00	74,10	72,60	74,80
Residual Fuel Oil	21,10	1,00	77,40	75,50	78,80
Lubricants	20,00	1,00	73,30	71,90	75,20
Natural Gas	15,30	1	56,1	54,3	58,3
Liquefied Petroleum Gases	17,2	1	63,1	61,6	65,6

Tabela 22 - Dados de Conversão para CO₂. Fonte: IPCC 2006

