

PEGADA DE CARBONO: O CASO DA CIDADE DO PORTO

YI LI

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM PLANEAMENTO

Orientador: Professor Doutor Paulo Manuel Neto da Costa Pinho

JULHO DE 2018

AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação de mestrado contou com importantes apoios e incentivos sem os quais não se teria tornado uma realidade e aos quais estarei eternamente grata.

Ao Professor Paulo Manuel Neto da Costa Pinho pela sua orientação, pelo saber que transmitiu, pelas opiniões e críticas, total colaboração no solucionar de dúvidas e problemas que foram surgindo ao longo da realização deste trabalho e pela disponibilidade e apreço que sempre recebi por parte do Professor.

Aos meus pais pelo apoio incondicional no meu percurso académico.

Por último, aos meus amigos que sempre me apoiaram e ajudaram na superação de obstáculos ao longo de anos e anos, um enorme obrigada.

RESUMO

As Cidades não só constituem centros importantes de atividade económica, de conhecimento, inovação e governação, como também estão associadas a cerca de 70% a 80% das emissões globais de dióxido de carbono. Isso faz com que as cidades se tornem nos principais agentes de mudança carbónica no mundo. A fim de estabelecer metas significativas e implementar políticas bem-sucedidas e estratégias de mitigação eficazes, torna-se essencial compreender o metabolismo urbano da cidade, designadamente na sua vertente energética, através do cálculo da sua pegada de carbono.

A literatura da especialidade disponibiliza várias metodologias de cálculo que tem sido testada em várias cidades do globo, permitindo um quadro comparativo de resultados nos quais se poderá perspetivar o desempenho da cidade do Porto.

Atualmente não existe nenhuma metodologia consensual para o cálculo da pegada de carbono. Existem várias metodologias disponibilizadas pela literatura científica para o seu cálculo sendo que as mais utilizadas são as metodologias de análise *input-output* (IOA) desenvolvidas a partir dos trabalhos de Wassily Leontief, a análise do ciclo de vida (*Life Cycle Assessment-LCA*), o método adotado pelo Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC*), o método PAS 2070 (*Publicly Available Specification 2070*) publicada pela Instituição de Normas Britânicas (*British Standards Institution-BSI*) e o Protocolo GHG desenvolvido pelo Instituto Mundial de Recursos (*World Resources Institute-WRI*) em parceria com o Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (*World Business Council for Sustainable Development-WBSCD*).

O objetivo desta dissertação é a produção de uma reflexão sobre as metodologias de cálculo da pegada carbónica, tendo em atenção as variáveis mais importantes para o planeamento urbano. Com base na aplicação à cidade do Porto, e sua comparação com cidades semelhantes no contexto Europeu, será feita uma primeira exploração das características formais e funcionais que melhor se correlacionam com os valores das pegadas de carbono assim obtidas.

PALAVRAS-CHAVE: Pegada de Carbono, Gases com Efeito de Estufa, Protocolo Global para Inventários de Emissões de Gases com Efeito de Estufa à Escala Comunitária (GPC), Cidade do Porto.

ABSTRACT

Cities are not only important centres of economic activity, knowledge, innovation and governance, but they are also associated with about 70% to 80% of global carbon dioxide emissions. This makes cities the main agents of carbonic change in the world. To set meaningful goals and implement successful policies and effective mitigation strategies, it is essential to understand the city's urban metabolism, particularly in its energy sector, by calculating its carbon footprint.

The literature of the specialty offers several calculation methodologies that have been tested in several cities of the globe, allowing a comparative table of results in which one can prospect the performance of the city of Porto.

There is currently no consensus methodology for calculating the carbon footprint. There are several methodologies available in the scientific literature for its calculation and the most used are input-output analysis (IOA) methodologies developed by Professor Wassily Leontief, life cycle analysis (LCA), the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), PAS 2070 (Publicly Available Specification 2070) published by the British Commission BSI British Standards and the GHG Protocol developed by the World Resources Institute (WRI) in partnership with the World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).

The objective of this dissertation is the production of a reflection on the methodologies of calculation of the carbon footprint, considering the variables most important for urban planning. Based on the application to the city of Porto, and its comparison with similar cities in the European context, a first exploration will be made of the formal and functional characteristics that best correlate with the values of the carbon footprints thus obtained.

KEYWORDS: Carbon Footprint, Greenhouse Effect Gases, Global Protocol for Greenhouse Gas Emissions Inventory at Community Scale (GPC), Oporto City.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
ÍNDICE GERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABELAS	xi
ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	xiii

1. INTRODUÇÃO TEÓRICA	1
1.1. INTRODUÇÃO	1
1.1.1.. ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS.....	1
1.1.2.. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	1
1.2. REVISÃO DA LITERATURA	2
1.3. CÁLCULO DA PEGADA DE CARBONO	3
1.4. ÂMBITOS E SISTEMAS CONTABILÍSTICOS	4
1.5. METODOLOGIAS DE CÁLCULO DA PEGADA DE CARBONO	5
1.5.1. IOA (INPUT-OUTPUT ANALYSIS METHOD).....	5
1.5.2. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....	7
1.5.3. METODOLOGIA DO PAINEL INTERGOVERNAMENTAL PARA AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	8
1.5.4. PAS 2070 (PUBLICLY AVAILABLE SPECIFICATION)	8
1.5.4.1. Metodologia de cadeia de fornecimentos diretos (DPSC).....	9
1.5.4.2. Metodologia baseada no consumo (CB)	9
1.5.5. PROTOCOLO GHG.....	9
1.6. REFLEXÃO CRÍTICA	10
1.7. APLICAÇÃO A CIDADES	13
2. METODOLOGIA E APLICAÇÃO	17
2.1. METODOLOGIA DE CÁLCULO DA PEGADA DE CARBONO PARA A CIDADE DO PORTO	17
2.2. ELABORAÇÃO DO INVENTÁRIO	18
2.2.1. LIMITE DO INVENTÁRIO.....	18
2.3. RECOLHA DE DADOS	20
2.3.1. MATRIZ ENERGÉTICA DO PORTO 2004.....	21
2.3.1.1. Energia primária, energia final, energia útil e emissões de GEE da cidade do porto..	21

2.3.1.2. Energia primária	21
2.3.1.3. Energia final.....	22
2.3.1.4. Energia útil.....	23
2.3.1.5. Emissões de GEE.....	25
2.4. ESTIMATIVA DAS EMISSÕES ATUAIS.....	25
2.4.1. CONFIRMAÇÃO DAS ESTIMATIVAS.....	29
2.5. PREENCHIMENTO DO RELATÓRIO GPC.....	30
2.6. RESULTADOS.....	34
2.7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES.....	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 – Matriz Energética do Porto de 2004	20
--	----

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Tabela de transações inter-industriais desenvolvido por Leontief.....	6
Tabela 2- Quadro Comparativo das metodologias em estudo (BSI 2013; ISO 2006; IPCC 2007; GPC 2014; W. Leontief 1936)	12
Tabela 3- Estudos sobre as emissões de GEE de várias cidades do globo (Wiedmann, Guangwu, e John 2016).....	13
Tabela 4- Matriz de vetores em energia primária vs. setores no Município do Porto (GWh/ano) ..	22
Tabela 5- Matriz de vetores em energia final vs. setores no Município do Porto (GWh/ano)	22
Tabela 6- Desagregação da energia primária (EP), energia final (EF) e das emissões de CO ₂ pelas diferentes utilizações do subsector residencial	23
Tabela 7- Desagregação da energia primária (EP), energia final (EF) e das emissões de CO ₂ pelas diferentes utilizações do subsector serviços	23
Tabela 8- Desagregação da energia primária (EP), energia final (EF) e das emissões de CO ₂ pelas diferentes utilizações do subsector transportes.....	24
Tabela 9- Desagregação da energia primária (EP), energia final (EF) e das emissões de CO ₂ pelas diferentes utilizações do subsector indústria	24
Tabela 10-Matriz de vetores em emissões de GEE vs. setores para o Município do Porto (t CO ₂ eq./ano)	25
Tabela 11- Cálculo da energia final em 2020 (GWh/ano) (Câmara Municipal do Porto 2010; AdEPorto 2008).....	27
Tabela 12-Cálculo das Emissões de CO ₂ em 2020 (t CO ₂ /ano) (Câmara Municipal do Porto 2010; AdEPorto 2008).....	28
Tabela 13- Relatório das emissões de GEE	31
Tabela 14- Resumo das Emissões de GEE	34

ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Lista de abreviaturas

CF - *Carbon Footprint*

CB - *Consumption-Based Methodology*

DPSC - *Direct Plus Supply Chain Methodology*

GEE - Gases com efeito de estufa

IOA - *Input Output Analysis*

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*

LCA - *Lifecycle Assessment*

LULUCF - *Land Use, Land Use Change and Forests*

MRIOA - *Multi-Regional Input Output Analysis*

UCF - *Urban Carbon Footprint*

WBSCD - *World Business Council for Sustainable Development*

WRI - *World Resources Institutes*

Lista de símbolos

CO₂ - Dióxido de Carbono

INTRODUÇÃO TEÓRICA

1.1. INTRODUÇÃO

1.1.1. ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS

Dentro de algumas décadas, a grande maioria da população mundial viverá nas cidades (70% até 2050; ONU, 2015). Kennedy et al. (2015) mostraram que as atuais 27 megacidades em rápido crescimento no mundo são responsáveis por 9% do consumo global de eletricidade, gerando 13% dos resíduos sólidos e abrigando 7% da população mundial.

Desta forma, é reconhecida a importância das cidades enquanto centros importantes de atividade económica, de conhecimento, inovação e governação, como também estão associados a cerca de 70% a 80% das emissões globais de dióxido de carbono. Isso faz com que as cidades se tornem nos principais agentes de mudança carbónica no mundo.

No presente trabalho procura-se compreender o metabolismo urbano da cidade do Porto, designadamente na sua vertente energética, através do cálculo da sua pegada de carbono.

No entanto a literatura da especialidade disponibiliza várias metodologias de cálculo que tem sido testada em várias cidades do globo, permitindo um quadro comparativo de resultados nos quais se poderá perspetivar o desempenho da cidade do Porto.

O objetivo desta dissertação será a produção de uma reflexão sobre as metodologias de cálculo da pegada carbónica, tendo em atenção as variáveis mais importantes para o planeamento urbano. Com base na aplicação à cidade do Porto, e sua comparação com cidades semelhantes no contexto Europeu, será feita uma primeira exploração das características formais e funcionais que melhor se correlacionam com os valores das pegadas de carbono assim obtidas.

1.1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A estrutura da dissertação que se apresenta é constituída por dois capítulos fundamentais.

A primeira parte do primeiro capítulo é de carácter introdutório que serve apenas para um enquadramento das temáticas, definição de objetivos principais e esquematização da estrutura do documento. A segunda parte do capítulo é composto pela revisão de literatura sobre a definição do conceito da pegada de carbono e das metodologias existentes mais utilizadas no cálculo da mesma finalizado de uma reflexão crítica dos pontos positivos e negativos de cada uma das metodologias sintetizadas num quadro comparativo. No final deste capítulo, expõem-se os estudos da pegada de carbono realizados noutros países do globo numa tabela com as metodologias adotadas e os resultados obtidos para cada cidade.

No segundo capítulo define-se a metodologia que melhor se aplica à cidade do Porto e é apresentada a aplicação da metodologia escolhida anteriormente bem como a elaboração do inventário das emissões de carbono da cidade e a determinação do valor da pegada de carbono. O final deste capítulo destina-se às principais conclusões e considerações finais do estudo desenvolvido.

1.2. REVISÃO DA LITERATURA

Todas as cidades apresentam questões de sustentabilidade ambiental, sobretudo sobre emissões de gases com efeito de estufa, especificamente dióxido de carbono (CO₂), que afeta diretamente as alterações climáticas. Nesse sentido, torna-se muito importante quantificar e reportar a sua pegada de carbono para a implementação de políticas ou estratégias nacionais e internacionais destinadas a atenuar e adaptar estas preocupações ambientais. Assim, surge o conceito da pegada de carbono, reconhecida como uma ferramenta valiosa para informar, especificamente, tomadores de decisão sobre a sustentabilidade ambiental da cidade (Lombardi et al. 2017).

O termo “pegada de carbono” é um conceito derivado do conceito de pegada ecológica, desenvolvido pela primeira vez por William Rees e Mathis Wackernagel, na década de 1990, no artigo “Urban Ecological Footprints – Why Cities Can Not Be Sustainable And Why They Are a Key To Sustainability”. Segundo estes dois autores a pegada carbónica traduz se na “*contabilização de emissões de dióxido de carbono do consumo de energia fóssil, estimando a área de floresta média que seria necessário para remover todo o dióxido de carbono, no pressuposto de que a estabilidade atmosférica é um pré-requisito da sustentabilidade*”(Rees e Wackernagel 1996).

Esta noção da pegada de carbono tem se tornado amplamente utilizada a nível mundial devido à preocupação crescente e do aumento da consciencialização do público sobre questões ambientais e alterações climáticas.

No entanto, há confusões sobre o que significa exatamente (Wiedmann e Minx 2007). Existe pouca coerência na sua definição e de metodologias de cálculo entre os estudos (Pandey, Agrawal, e Pandey 2011). Observa-se também que a literatura científica sobre este conceito é escassa e a maioria dos estudos têm sido realizados por organizações e por empresas privadas no sentido de negócio em vez da responsabilidade ambiental (Wiedmann e Minx 2007).

Tal como referido, há pouca uniformidade nas definições do conceito da pegada de carbono exibidas nas literaturas e estudos disponíveis. Desta forma, Wiedmann e Minx (2007), definiram a pegada de carbono como “*uma medida da quantidade total exclusiva de emissões de dióxido de carbono direta e indiretamente causada por uma atividade ou acumulada sobre as fases de vida de um produto*”.

Outro autor, John East (2008), define a pegada de carbono com base numa discussão sobre a literatura existente como: “*Uma medida direta das emissões de gases com efeito de estufa (expressa em toneladas de dióxido de carbono equivalente) causada por uma atividade definida. No mínimo, esta medida inclui as emissões resultantes de atividades dentro do controlo ou propriedade do emissor e das emissões indiretas resultantes da utilização da eletricidade adquirida*”.

Mais tarde, Pandey, Agrawal, e Pandey (2011), apontam no seu estudo que a pegada de carbono pode ser definida como “*a quantidade de GEE expressa em termos de CO₂-equivalente, emitida para a atmosfera por um indivíduo, organização, processo, produto ou evento dentro de um limite de tempo especificado*”(Pandey, Agrawal, e Pandey 2011).

Especificamente no contexto urbano, ou seja, a pegada carbónica aplicada a uma cidade, tem sido reconhecida como um conceito abrangente para avaliar as emissões de GEE decorrentes de um sistema urbano, a fim de fornecer uma ferramenta valiosa para decisores políticos locais (Lombardi et al. 2017). Este termo é usado na área urbana como sinónimo de carbono incorporado, teor de carbono, fluxos de carbono, carbono virtual, pegada de GEE e pegada climática (Bhoyar et al. 2014).

Neste trabalho, o conceito da pegada de carbono vai seguir a definição proposta por Pandey, Agrawal, e Pandey (2011) mas adaptada ao contexto da cidade: “*a quantidade de GEE expressa em termos de CO₂-equivalente, emitida para a atmosfera resultante de todas as atividades ocorridas dentro do limite da cidade, ou seja, todas as emissões diretas e indiretas de uma dada área urbana.*”

1.3. CÁLCULO DA PEGADA DE CARBONO

No sentido de estabelecer metas significativas, desenhar políticas bem-sucedidas, e implementar estratégias de mitigação eficazes de uma cidade, é essencial a elaboração de um inventário preciso, comparável, abrangente e completo sobre as emissões dos gases de efeito estufa. Para tal, o cálculo da pegada de carbono urbana torna-se indispensável para facilitar comparações entre diferentes áreas urbanas.

A fim de calcular a pegada de carbono de uma determinada cidade é necessária a recolha de dados sobre as emissões dos gases com efeito de estufa dessa cidade. Esta recolha é, geralmente, muito difícil porque primeiro nem sempre há dados disponíveis sobre emissões de cidades e também porque existem muitas atividades decorrentes dentro do perímetro urbano que não disponibilizam registos de GEE (Lombardi et al. 2017).

O primeiro elemento importante que deve ser considerado para a avaliação da pegada de carbono urbana é o lugar onde ocorrem as emissões na cidade, ou seja, o “limite espacial” considerado. Na verdade, as emissões podem ocorrer dentro ou fora da cidade, produzindo, portanto, emissões diretas e indiretas respetivamente (Wiedmann e Minx 2007). Nos últimos anos, a definição e a inclusão de emissões indiretas foram debatidas na literatura académica (Kennedy et al. 2009; David 2009; Hillman e Ramaswami 2010; Ramaswami et al. 2008).

O segundo elemento importante é a “tipologia comunitária” de acordo com a estrutura económica da cidade. Alguns autores distinguem a comunidade produtora líquida, a comunidade consumidora líquida e a comunidade comércio-equilibrada. A primeira tipologia refere-se principalmente às comunidades industriais ou de habitações com grandes emissões territoriais devido à produção local; a segunda diz respeito a cidades suburbanas dominadas por habitações com grandes emissões territoriais devido ao consumo. Por último, a cidade do comércio equilibrado é caracterizada pela quantidade igual de indústrias e de habitações no seu interior, e por isso não tem qualquer prevalência de tipologia de emissão (Chavez et al. 2012; Ramaswami, Chavez, e Chertow 2012).

A identificação anterior da tipologia da comunidade permite não subestimar nem sobrestimar as emissões de GEE, uma vez que se encaminha para o sistema de contabilidade da pegada de carbono urbano mais próximo das características da cidade (Chavez e Ramaswami 2013).

De acordo com o “limite espacial” e a “tipologia comunitária” é possível classificar a pegada de carbono urbana em:

- “espacial ou direta”, uma vez que contabiliza apenas as emissões territoriais de GEE, isto é, das emissões diretas geradas dentro da cidade;

ou em

- “económico ou *life cycle based*”, uma vez que inclui todo o tipo de emissões mesmo aqueles gerados por atividades de exportação e importação fora da cidade.

Com estes dois elementos considerados (“limite espacial” e “tipologia comunitária”) também existem três principais sistemas de contabilidade da pegada de carbono urbano (como alternativa também denominada de abordagens, modelos ou perspetivas). São o sistema territorial, o sistema baseado na produção e o sistema baseado no consumo. Atualmente, o sistema baseado no consumo é definido como a opção mais abrangente e amplamente utilizado.

O sistema territorial calcula as emissões que ocorrem dentro das suas fronteiras e de áreas costeiras abrangidas pela jurisdição da cidade, incluindo as emissões do âmbito 1¹ e do âmbito 2². Inicialmente, este sistema nasceu para contabilizar as emissões de um país ou de uma região no sentido de definir os esforços de mitigação estabelecidos pelos acordos ambientais internacionais (USEPA 2016).

O sistema baseado na produção inclui todas as emissões de atividades económicas (produção) por empresas e famílias residentes em setores específicos independentemente de onde estes ocorrem (também para além dos limites da cidade). Por esta razão, incluem não só as emissões do âmbito 1 e do âmbito 2, mas também algumas das emissões do âmbito 3³. Na verdade, o sistema baseado na produção tem em conta as emissões incorporadas provenientes das atividades da exportação da cidade (WRI 2014).

O sistema baseado no consumo calcula as emissões associadas ao consumo de combustíveis, produtos e serviços empregados pela cidade (ou seja, produzidos localmente e/ou importados, independentemente de onde ocorreu a produção desses bens e serviços). Incluem fontes que estão para além do limite (além de produtos exportados e de serviços). Tal como o sistema baseado na produção, este sistema considera igualmente as emissões do âmbito 1, do âmbito 2 e também algumas das emissões do âmbito 3, especificamente as incorporadas nas atividades de importação da cidade. Este sistema abrange todas as emissões resultantes do consumo de bens e de serviços locais e importados e, portanto, é considerado o modelo de cálculo mais abrangente do que o modelo baseado na produção e no modelo territorial (Dahal e Niemelä 2017).

1.4. ÂMBITOS E SISTEMAS CONTABILÍSTICOS

Âmbito, ou scope em inglês, é o conceito mais utilizado e padronizado para classificar as emissões diretas e indiretas. O termo foi elaborado em 2001 pelo Conselho Mundial de Negócios para o Desenvolvimento Sustentável (WBSCD) e pelo Instituto de Recursos Mundiais (WRI) para empresas, sendo categorizado em três âmbitos. Em 2014, este conceito foi aplicado para à cidade (WBCSD;WRI 2001; WRI 2014).

Este termo encontra-se categorizado em três âmbitos: âmbito 1, âmbito 2 e âmbito 3. As emissões que decorrem dentro do âmbito 1 representam todas as emissões diretas de GEE das atividades que tomam lugar dentro do limite da cidade, como por exemplo, as emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis gerados em edifícios, em processos industriais, no tratamento de resíduos urbanos, nas atividades associadas à agricultura e de outros usos da terra e na conversão de fontes de energia primária em refinarias e centrais elétricas localizadas dentro dos limites da cidade.

As emissões do âmbito 2 são todas as emissões indiretas de GEE relacionadas com a energia. Representam as emissões resultantes do uso da eletricidade fornecida à rede, dos processos de aquecimento e/ou refrigeração que ocorrem dentro do limite da cidade.

Por último as emissões do âmbito 3 englobam todas as outras emissões indiretas de GEE que ocorrem fora da cidade como resultado das atividades que têm lugar dentro do limite da cidade (BSI 2013) e todas as emissões relacionadas com as atividades de importação e exportação.

¹ Consultar a definição do âmbito 1 no ponto 2.3

² Consultar a definição do âmbito 2 no ponto 2.3

³ Consultar a definição do âmbito 3 no ponto 2.3

1.5. METODOLOGIAS DE CÁLCULO DA PEGADA DE CARBONO

Atualmente não existe nenhuma metodologia consensual para o cálculo da pegada de carbono.

Existem várias metodologias disponibilizadas pela literatura científica para o seu cálculo sendo que as mais utilizadas são as metodologias de análise *input-output* (IOA) desenvolvidas a partir dos trabalhos de Wassily Leontief, a análise do ciclo de vida (*Life Cycle Assessment-LCA*), o método adotado pelo Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC*), o método PAS 2070 (*Publicly Available Specification 2070*) publicada pela Instituição de Normas Britânicas (*British Standards Institution-BSI*) e o Protocolo GHG desenvolvido pelo Instituto Mundial de Recursos (*World Resources Institute-WRI*) em parceria com o Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (*World Business Council for Sustainable Development-WBSCD*).

1.5.1. IOA (INPUT-OUTPUT ANALYSIS METHOD)

A análise input-output é o nome atribuído a um quadro analítico desenvolvido pelo professor Wassily Leontief no final da década de 1930, em reconhecimento do qual recebeu o Prêmio Nobel de Ciência Económica em 1973 (W. Leontief 1936). Costuma-se falar do modelo Leontief quando se refere à análise de entrada-saída. O termo análise intersectorial também é usado, uma vez que o propósito fundamental da estrutura de entradas e saídas é analisar a interdependência das indústrias na economia. Hoje, os conceitos básicos apresentados por Leontief são componentes-chave de muitos tipos de análise económica e, de fato, a análise input-output é um dos métodos mais amplamente aplicados na economia (Baumol 2000).

Na sua forma mais básica, o modelo de entrada-saída consiste num sistema de equações lineares, cada uma das quais descreve a distribuição do produto de uma indústria em toda a economia. A maioria das extensões da estrutura básica de entrada-saída é introduzida para incorporar detalhes adicionais de atividade económica, como tempo ou espaço, para acomodar limitações de modelos de entrada-saída de dados disponíveis para outros tipos de ferramentas de análise económica.

O modelo básico de entrada-saída de Leontief é geralmente construído a partir de dados económicos observados para uma região geográfica específica (país, município, etc.). Este modelo preocupa-se com a atividade de um grupo de indústrias que produzem bens (saídas) e consomem bens de outras indústrias (entradas) no processo de produção de cada indústria. Na prática, o número de setores industriais considerados pode variar de apenas algumas até centenas ou mesmo milhares.

A informação fundamental usada na análise de entradas-saídas diz respeito aos fluxos de produtos de cada setor industrial, considerando o produtor, cada um dos setores, o próprio setor e outros agentes, considerados como consumidores.

A partir dessa informação básica é possível desenvolver um modelo de entrada-saída sob forma de uma tabela de transações inter-industriais. As linhas dessa tabela descrevem a distribuição da produção de um produtor em toda a economia enquanto que as colunas descrevem a composição das “entradas” exigidas por uma indústria específica para produzir a respetiva “saída”.

Essas trocas de bens inter-industriais constituem a parte sombreada da tabela 2. As colunas adicionais, designadas pela procura final, registam as vendas por setor para os consumidores finais, como compras de consumo pessoal e vendas para o governo. Por exemplo, a eletricidade é vendida para empresas em outros setores como uma “entrada” para a produção (uma transação inter-industrial) e também aos consumidores residenciais (venda final). As linhas adicionais, denominadas de valor acrescentado, representam as outras “entradas” (não industriais) para a produção, como os funcionários, a depreciação do capital, os impostos indiretos do negócio e as importações.

Tabela 1- Tabela de transações inter-industriais desenvolvido por Leontief

		PRODUTORES COMO CONSUMIDORES							PROCURA FINAL				
		Agri- cul.	Min.	Cons- tru.	Ma- nuf.	Com.	Transp.	Serv.	Ou- tros	Despesas de Con- sumo Pes- soal	Investimento Interno Pri- vado Bruto	Compras Go- vernamentais de Bens e Ser- viços	Exporta- ções Líqui- das de Bens e Serviços
PRODUTORES	Agricultura												
	Mineração												
	Construção												
	Manufatura												
	Comércio												
	Transporte												
	Serviços												
	Outros												
VALOR ACRESCENTADO	Funcioná- rios	Compensação de Funcionários							PRODUTO INTERNO BRUTO				
	Donos de Empresas e Capital	Rendimentos do tipo lucro e de Consumo de Capital											
	Governo	Impostos Indiretos de Negócios											

A matemática da análise input-output pode ser utilizada em fluxos expressos em unidades físicas ou monetárias e também foi aplicada por exemplo, para descrever a energia e os fluxos de nutrientes em ecossistemas naturais (Hannon 1995). Estas aplicações ambientais da análise input-output tiveram grande contributo na análise do papel económico dos sectores de redução das emissões de GEE (Leontief, 1971), na quantificação da energia incorporada (Bullard e Herendeen 1973) e na análise de medidas de eficiência energética (Hannon et al., 1978). Como um modelo importante para a pesquisa da mitigação dos gases com efeito de estufa, a análise input-output tem sido utilizada para estimar as emissões de GEE, nomeadamente, a pegada de carbono, associadas à produção e à distribuição de mercadorias para o consumo final. Este tipo de análise basicamente redistribui as emissões que ocorrem na produção de sectores para o consumo final. Pode ser utilizado para quantificar as emissões de GEE associadas às atividades de importação e exportação (Wyckoff e Roop 1994), como também para quantificar as emissões associadas ao consumo nacional (Hertwich e Peters 2009), ao das regiões (Turner, Lambin, e Reenberg 2007), ou ao das instituições (N. Larsen e Hertwich 2010a; Minx et al. 2009).

Esta metodologia oferece alguns benefícios em relação a outros modelos de cálculo. Em primeiro lugar, esta abordagem fornece uma descrição completa da cadeia de fornecimento regional e/ou inter-regional e evita o erro de truncagem tipicamente encontrado por abordagens de baixo para cima. Em segundo lugar, o método de análise de entradas e saídas atribui os problemas ambientais ao consumo final em vez do consumo intermediário, o que permite avaliar os efeitos diretos e indiretos da perspetiva do consumo. No entanto, este método é mais utilizado em níveis macro, tais como níveis regionais ou nacionais, e menos usado em níveis micro, como em parques industriais ou em produtos individuais, devido à falta de tabelas IO (Input Output) (Dong et al. 2016). No entanto, a aplicação do método de análise de entradas e saídas à escala da cidade pode ser difícil já que os dados de despesa ao nível das áreas metropolitanas nem sempre estão disponíveis publicamente por todos os sectores económicos (Ramaswami et al. 2008).

Também foi alargada à análise comercial inter-regional, gerando uma nova abordagem contabilística para as emissões incorporadas no comércio nacional, nomeadamente a análise de entradas e saídas

multi-regional (MRIOA). A MRIOA é uma ferramenta mais correntemente utilizada, uma vez que permite a análise a um nível multi-regional (intra ou inter-nacionais, entre cidades e entre áreas metropolitanas), evitando assim a dupla contagem de emissões (Choi 2015).

As tabelas de entrada-saída multi-regionais foram produzidas como parte dos esforços de investigação e da necessidade de conciliar diferentes convenções nacionais para a construção das tabelas e dados do comércio internacional conflitantes (Tukker et al., 2013), esta ferramenta tem um papel instrumental cada vez mais importante na mitigação. São usados como uma ferramenta importante no cálculo das emissões de carbono do consumidor, de maneira a fornecer uma análise regional, por vezes, espacialmente explícita (Lenzen et al., 2004), para ajudar as empresas e instituições públicas a direcionar os esforços de mitigação do clima, e para fornecer estimativas iniciais de emissões associadas com diferentes alternativas (Sirigaita et al., 2009).

Choi (2015) sublinha a importância do quadro de modelação MRIO, uma vez que fornece informações úteis para avaliar o impacto das ações políticas coordenadas entre as cidades ligadas através de cadeias de fornecimentos e de procura. No entanto, a fim de estimar o saldo do comércio de emissões, a utilização desta metodologia nem sempre é possível, uma vez que a existência dessas tabelas é rara (Vetóné Mózner 2013).

1.5.2. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

O aumento da consciencialização sobre a importância da proteção ambiental e os possíveis impactos ambientais associados aos produtos desde a produção até ao consumo, levou ao desenvolvimento de métodos para melhor entender e abordar esses impactos. Uma das técnicas desenvolvidas para esse fim é a avaliação do ciclo de vida (*Life Cycle Assessment-LCA*). A LCA aborda os aspetos ambientais e potenciais impactos ambientais (por exemplo, o uso de recursos e as consequências ambientais das respetivas emissões) ao longo do ciclo de vida de um produto, desde a aquisição da matéria prima até à produção, ao uso, à reciclagem e ao momento da descarga final). A ISO 14044 detalha os requisitos para a realização de uma avaliação do ciclo de vida em quatro fases: a fase da definição de objetivos e âmbitos, a fase da análise do inventário, a fase de avaliação de impacto, e a fase de interpretação (ISO 2006).

Assim, a avaliação do ciclo de vida é definida como uma análise de baixo para cima, usada principalmente para o sistema baseado no consumo (Lombardi et al. 2017). É um método usado para avaliar de forma abrangente os efeitos ambientais da produção de produtos desde a aquisição das matérias primas até à geração final de resíduos (Choi 2015; ISO 2006). É uma forma de reportar potenciais impactos ambientais e de recursos consumidos em cada etapa de um produto ou numa cadeia de fornecimento de serviços (ou seja, a extração de matérias-primas, a produção de bens e o uso pelos utilizadores finais, ou a prestação de um serviço, reciclagem e a eliminação final) (ISO 2006).

No processo da avaliação do ciclo de vida, os dados são recolhidos para todos os processos em que foram identificados como importantes para incluir dentro do limite do sistema escolhido. Por esta razão, tem a desvantagem de ser uma avaliação subjetiva de quais os processos a incluir. É demorado e requer uma grande quantidade de dados, software específico e competências especializadas (Kalbar 2017). Além disso, o modelo da avaliação do ciclo de vida poderia ser insuficiente quando se centra nos serviços municipais, devido ao número significativo dos serviços comprados de outras cidades, governos, ou organizações privadas. Por conseguinte, a avaliação da pegada carbónica urbana pela avaliação do ciclo de vida não é recomendada devido à sua complexidade (N. Larsen e Hertwich 2010b). Diferentemente da análise de entradas e de saídas, a avaliação do ciclo de vida é mais utilizada em pequenas escalas, como no processo de fabricação de um produto, uma vez que dados detalhados do processo encontram-se disponíveis (Dong et al. 2016).

1.5.3. METODOLOGIA DO PAINEL INTERGOVERNAMENTAL PARA AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O Painel Intergovernamental sobre as Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) – IPCC é uma organização científico-política criada em 1988 no âmbito da Organização das Nações Unidas (ONU). As metodologias de cálculo das emissões de GEE do IPCC são reconhecidas e utilizadas mundialmente. As diretrizes definidas pelo “*IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*”, de 2006, fazem parte da versão mais disponível e atualizada deste documento (IPCC 2006).

O IPCC é um método abrangente de elaboração de relatórios para os inventários de gases de efeito estufa ao nível nacional (IPCC 2006). Esta metodologia foi concebida para calcular e reportar as emissões territoriais de GEE resultantes dos seis gases principais no âmbito do Protocolo de Quioto: dióxido de carbono (CO₂), excluindo CO₂ emitido a partir de fontes de carbono biogénicos; metano (CH₄), incluindo CH₄ derivado de fontes biogénicas de carbono; óxido nitroso (N₂O); hidrofluorcarbonetos (HFC); perfluorocarbonetos (PFC) e hexafluoreto de enxofre (SF₆). Exige, efetivamente, apenas o relatório das emissões diretas dos sectores e subsectores e pode igualmente ser aplicado a nível da cidade dentro das suas fronteiras, independentemente de onde a produção é consumida (Dong et al. 2016). O IPCC foi o primeiro método adaptado para inventários de GEE à escala da cidade e assim, frequentemente utilizado.

No entanto, também foi utilizado noutros campos de aplicação, uma vez que os investigadores utilizaram os fatores de emissão fornecidos pelo IPCC para avaliar a pegada de carbono urbana de alguns setores, tais como os resíduos sólidos municipais (Lombardi et al. 2017). Todos os protocolos institucionais internacionais para a contabilidade de GEE utilizam princípios, abordagens e metodologias fornecidas pelas diretrizes do IPCC.

1.5.4. PAS 2070 (PUBLICLY AVAILABLE SPECIFICATION)

Em 2013, a Instituição de Normas Britânicas (BSI) publicou a metodologia PAS 2070 (Publicly Available Specification 2070), um documento que padroniza o inventário das emissões de GEE da cidade, fornece um modelo robusto e transparente para o cálculo das emissões associadas e permite o cálculo de emissões de GEE associados a serviços e produtos, assim como a avaliação interna do ciclo de vida das emissões de bens e serviços já existentes com o objetivo de fornecer um método robusto e transparente para a elaboração de relatórios consistentes, comparáveis e relevantes de emissões de GEE à escala urbana. Este modelo incentivará avaliações mais globais de emissões de gases com efeito de estufa, maior divulgação e uma avaliação comparativa mais significativa para ajudar os decisores da cidade a identificar as principais fontes de emissão, a dependência de carbono da sua economia e das oportunidades para cadeias de fornecimentos urbanos mais eficientes (BSI 2013).

O PAS 2070 responde ao desafio de alterações climáticas, especificando os requisitos para a avaliação das emissões de GEE de uma cidade ou área urbana seguindo princípios de contabilidade de relatórios de GEE internacionalmente reconhecidos. Esta metodologia capta as emissões diretas de GEE (de fontes dentro do limite da cidade), bem como as emissões indiretas de GEE (de bens e serviços que são produzidos fora do limite da cidade para consumo e / ou uso dentro do limite da cidade). Nesse sentido, este modelo especifica os requisitos para a avaliação das emissões dos gases com efeito de estufa de uma cidade ou de uma área urbana através de duas metodologias distintas: uma metodologia de cadeia de fornecimentos diretos (DPSC) e uma metodologia baseada no consumo (CB):

1.5.4.1. Metodologia de cadeia de fornecimentos diretos (DPSC)

A metodologia de cadeia de fornecimentos diretos capta as emissões territoriais de GEE e as associadas às maiores cadeias de fornecimentos que servem as cidades, muitas das quais estão associadas às infraestruturas da cidade. Abrange as emissões diretas de GEE de atividades dentro do limite da cidade e as emissões indiretas de GEE do consumo de eletricidade, aquecimento e/ou arrefecimento, transporte transfronteiriço e as cadeias de abastecimento do consumo de bens e serviços essenciais produzidos fora da fronteira da cidade (por exemplo, abastecimento de água, alimentos, materiais de construção). Resume-se em quatro etapas: a definição das fontes de emissões de GEE, a definição do limite geográfico da avaliação, a recolha de dados necessários e o cálculo final.

1.5.4.2. Metodologia baseada no consumo (CB)

A metodologia baseada no consumo capta as emissões diretas de GEE e as emissões do ciclo de vida de todos os bens e serviços consumidos pelos moradores da cidade, ou seja, as emissões de GEE são destinadas aos consumidores finais de bens e serviços, e não aos produtores primordiais dessas emissões de GEE. A metodologia baseada no consumo não avalia os impactos da produção de bens e serviços dentro de uma cidade que é exportada para o consumo fora do limite da cidade, como também não avalia emissões associadas às atividades de visitantes ou serviços prestados aos visitantes.

É uma metodologia de contabilidade puramente territorial, utilizada quando as fontes de emissões de GEE não são fornecidas. No entanto, esta metodologia pode ser calculada como um subconjunto da metodologia de cadeia de fornecimentos diretos. Baseia-se sobretudo em três etapas: a definição do limite geográfico da avaliação, a recolha de dados necessários e o cálculo final.

1.5.5. PROTOCOLO GHG

O Protocolo GHG foi desenvolvido pelo Instituto Mundial de Recursos (WRI) em parceria com o Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD).

Esta metodologia tem sido, nos últimos anos, largamente utilizada a nível mundial por várias organizações e empresas pois disponibiliza gratuitamente normas e diretrizes para empresas e outro tipo de organizações, que permitem inventariar e quantificar as emissões de gases com efeito de estufa de uma área subnacional definida geograficamente.

Esta metodologia disponibiliza vários documentos, nomeadamente:

- *The GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard*, publicado em 2004, que fornece requisitos e orientações para empresas e outras organizações que procuram elaborar um inventário de emissões de GEE.
- *The GHG Protocol for Project Accounting*, publicado em 2005, que fornece uma ferramenta de contabilidade mais abrangente e neutra em termos de políticas para quantificar os benefícios dos projetos de mitigação das mudanças climáticas pelos gases com efeito de estufa.
- *The Corporate Value Chain (Scope 3) Standard*, publicado em 2008, que permite que as empresas avaliem o impacto nas emissões da cadeia de valor e identifiquem onde devem concentrar as atividades de redução.
- *The GHG Protocol Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard*, publicado em 2011, que pode ser usado para perceber as emissões completas do ciclo de vida de um produto e concentrar os esforços nas maiores oportunidades de redução de GEE. Este é o primeiro passo para produção de produtos mais sustentáveis.
- *The GHG Protocol Policy and Action Standard*, publicado em 2014, que fornece uma abordagem padronizada para estimar o efeito de gases com efeito estufa de políticas e ações.

- *The Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories (GPC)*, publicado em 2014, que fornece uma estrutura robusta para contabilizar e reportar as emissões de gases com efeito de estufa das cidades.
- *The GHG Protocol Mitigation Goal Standard*, publicado em maio de 2018, que fornece orientação para a elaboração de metas de mitigação nacionais e subnacionais e uma abordagem padronizada para avaliar e reportar o progresso em direção à realização dessas metas.

O modelo mais recente para aplicar a cidades é o Protocolo Global para Emissões de GEE de Escala Comunitária (GPC), emitido pelo Instituto Mundial de Recursos em parceria com o grupo C40 (Climate Leadership Group) e a associação ICLEI (Local Governments for Sustainability) em dezembro de 2014.

Embora a GPC seja projetada principalmente para cidades, a estrutura de contabilidade também pode ser usada para municípios, distritos e localidades. No entanto, o GPC não define qual o limite geográfico que constitui uma “cidade”.

O GPC fornece uma estrutura robusta para contabilizar e reportar as emissões de GEE da cidade. Exige que as cidades meçam e divulguem um inventário abrangente de emissões de GEE e as agrupem usando duas estruturas distintas, mas complementares: uma com foco nas emissões definidas geograficamente e outra com foco em emissões causadas pela cidade. Isto parece ser mais completo do que os outros protocolos, pois sugere a inclusão de todas as emissões indiretas decorrentes de energia, resíduos, aviação e transporte marítimo. Os decisores de políticas a nível regional ou nacional também podem usar este modelo para entender como agregar as emissões de várias cidades para melhorar os dados do inventário nacional e estabelecer metas ou políticas de mitigação ou para acompanhar as tendências de emissões da cidade.

O método GPC inclui ferramentas de cálculo que permitem aos utilizadores quantificar as emissões de GEE através da elaboração de relatórios BASIC e BASIC+. Para o cálculo da pegada de carbono é fundamental utilizar em simultâneo as várias folhas de cálculo disponíveis pela metodologia. Estas folhas de cálculo necessitam da aplicação fatores de emissão, sendo que para a maioria das fontes de emissão, as cidades precisarão de estimar as emissões de GEE multiplicando os dados das atividades existentes por um fator de emissão associado à atividade que está a ser medida.

O resultado final é expresso em toneladas de CO₂eq. Esta avaliação recorre a fatores de caracterização do potencial de aquecimento global (GWP100) que refletem o efeito relativo dos gases de efeito de estufa em termos de mudança climática, considerando um período fixo de tempo que neste caso são 100 anos (IPCC, 2007).

1.6. REFLEXÃO CRÍTICA

Após o estudo e a compreensão das metodologias disponibilizadas pela literatura científica para a determinação da pegada de carbono, conclui-se que estas têm em comum o mesmo objetivo que é a obtenção, através de diferentes modelos de cálculo, das emissões de GEE do ciclo de vida de produtos, organizações, municípios, cidades, regiões ou de países. Fornecem informação relevante das emissões de carbono e respondem ao problema cada vez mais desafiador de tornar as cidades cada vez mais sustentáveis, pois permite aos planeadores ambientais e decisores políticos locais estabelecerem as metas de redução das emissões de carbono e definir estratégias de implementação de políticas de maneira a conceber boas estratégias de gestão ambiental urbana.

Das metodologias analisadas, destacam-se os seguintes aspetos:

- a análise input-output é utilizada maioritariamente para níveis macro, tais como cidades, regiões e países, e sua aplicação permite obter resultados completos e abrangentes desde que seja fornecida toda a informação necessária para os processos de cálculo;
- a avaliação do ciclo de vida é geralmente aplicada em níveis micro, como por exemplo na determinação da pegada de carbono de um produto;
- a metodologia IPCC fornece as diretrizes para a elaboração de relatórios para os inventários de gases de efeito estufa ao nível nacional. Todos os protocolos institucionais internacionais para a contabilidade de GEE utilizam princípios, abordagens e metodologias fornecidas pelas diretrizes do IPCC;
- o PAS 2070 é destinada a aplicações à escala urbana, é um método robusto e transparente para quantificação, preparação de relatórios consistentes, comparáveis e relevantes de emissões de GEE à escala urbana;
- o Protocolo GHG também se destina a aplicações à escala urbana, mas também permite inventariar e quantificar as emissões de gases com efeito de estufa de uma área subnacional definida geograficamente.

Posto isto, chega-se à conclusão de que as metodologias do cálculo da pegada de carbono que mais se adequam para a aplicação à cidade do Porto são a análise input-output, o PAS 2070 e o Protocolo GHG (dentro do Protocolo GHG, o *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories* é o modelo mais específico para contabilizar e reportar a pegada de carbono a nível da cidade), pois são modelos de cálculo mais apropriados para o âmbito urbano.

Em síntese, a tabela 2 expõe um quadro comparativo das metodologias em estudo, mostrando a escala de aplicação e os aspetos positivos e negativos de cada metodologia.

Tabela 2- Quadro Comparativo das metodologias em estudo (BSI 2013; ISO 2006; IPCC 2007; GPC 2014; W. Leontief 1936)

Metodologia	Ano início	Iniciador	Definição	Escala	Aspetos positivos	Aspetos negativos
IOA	1936	Leontief	Uma técnica económica que usa dados de fluxos setoriais para explicar as complexas interdependências de vários setores económicos.	Nível macro	-O cálculo é simples, se os dados estiverem disponíveis. -O resultado é completo e abrangente.	- O cálculo é menos detalhado e menos preciso. - A tabela IO é publicada a cada cinco anos, portanto, os dados utilizados são antigos.
LCA	1960	-	Um método usado para avaliar de forma abrangente os efeitos ambientais das escolhas de produtos, desde a geração de matérias-primas até à eliminação final dos resíduos.	Nível micro	- O cálculo é mais detalhado e preciso.	- Ignora os fluxos indiretos fora do limite e leva a erros de truncamento. - Precisa de muitos dados de processo e consome mais tempo e trabalho.
IPCC	1988	-	É um método abrangente de comunicação para os inventários de gases com efeito de estufa ao nível nacional	A nível nacional	-Todos os protocolos institucionais internacionais para a contabilidade de GEE utilizam princípios, abordagens e metodologias fornecidas pelas diretrizes do IPCC.	-Não especifica emissões do âmbito 3
PAS 2070	2013	BSI	É um documento que padroniza o inventário de emissão de GEE da cidade, fornecendo um método robusto e transparente. Especifica os requisitos para a avaliação das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) de uma cidade ou de uma área urbana com duas metodologias distintas :uma metodologia de cadeia de fornecimentos diretos (DPSC) e uma metodologia baseada no consumo (CB).	Ao nível da cidade	-É um método robusto e transparente para a quantificação e preparação de relatórios consistentes, comparáveis e relevantes de emissões de GEE de escala urbana.	-Diretrizes para o âmbito 3 (emissões que ocorrem fora da cidade) ainda por publicar
GHG	2004	WRI/ WBCSD	Oferece a cidades e governos locais uma estrutura robusta, transparente e globalmente aceite para identificar de forma consistente, calcular e informar sobre cidade gases de efeito estufa. Isto inclui emissões libertadas dentro dos limites da cidade, bem como aqueles que ocorrem fora como resultado de atividades que ocorrem dentro da cidade.	Projetada principalmente para cidades, também pode ser usada para municípios, distritos, províncias e localidades	-Fornece uma estrutura robusta para contabilizar e reportar as emissões de GEE da cidade.	-

1.7. APLICAÇÃO A CIDADES

A literatura da especialidade disponibiliza várias metodologias de cálculo que tem sido testada em várias cidades do globo. Wiedmann, Guangwu, e John (2016) resumiram os estudos científicos realizados sobre as emissões de GEE de várias cidades do globo com um sistema de contabilidade baseado no consumo num quadro comparativo de resultados:

Tabela 3- Estudos sobre as emissões de GEE de várias cidades do globo (Wiedmann, Guangwu, e John 2016)

País: cidade ou área metropolitana	Emissões de GEE per capita	Ano de dados	Metodologia	Referência
Europa				
Finlândia: Área Metropolitana de Helsinque	11 t CO ₂ -eq/cap	2006	IOA	Heinonen et al. 2013
Finlândia: Helsinque, Vantaa, Espoo e Kauniainen	13–14 t CO ₂ -eq/cap	2006	IOA	Ala-Mantila et al. 2013; Ala-Mantila et al. 2014
Finlândia: Raahе, Heinavesi, Joensuu, Kaunianien	14–18 t CO ₂ -eq/cap	2006	Inventários nacionais de GEE	Paloheimo e Salmi 2013
Luxemburgo	60 t CO ₂ -eq/cap	1995-2009	IOA	Caro et al. 2015
Noruega: 429 municípios (CF apenas dos serviços municipais)	0.4–2.9 t CO ₂ -eq/cap	2007	IOA	Larsen e Hertwich 2010b; Larsen e Hertwich 2009, 2010a, 2011
Portugal: Aveiro	9.5 t CO ₂ -eq/cap	2005	IOA	Dias et al. 2014
Reino Unido: 434 municípios	10–16 t CO ₂ /cap	2004	MRIOA	Minx et al. 2013
Reino Unido: Glasgow	2.2 t CO ₂ /cap	2006	MRIOA	Hermannsson e McIntyre 2014
Ásia				
China: Beijing	Não aplicável	2002,2007	IOA	Guo et al. 2012; Zhou et al. 2010
China: Beijing	9 t CO ₂ /cap	2007	IOA	Chen et al. 2013
China: Beijing	Não calculado	1997-2010	IOA	Wang et al. 2013
China: Beijing-Tianjin	3.8 t CO ₂ -eq/cap	2007	MRIOA	Wang et al. 2013
Chongqing, Shanghai, Tianjin	4–11 t CO ₂ /cap	2007	MRIOA	Feng et al. 2014b

China: Beijing, Chongqing, Shanghai, Tianjin	1.8–7.4 tce ⁴ /cap	2007	MRIOA	Zhang et al. 2015
China: Xiamen	9.3 t CO ₂ /cap	2009	IOA para o âmbito 3	Lin et al. 2013a
China: Xiamen	6.8 t CO ₂ /cap	2007	IOA	Vause et al. 2013
América				
EUA: Atlanta, San Francisco, Seattle	11.5–14.7 t CO ₂ -eq/cap	2006	IOA	Choi 2015
EUA: Denver	25 t CO ₂ -eq/cap	2005	MFA ⁵ e IOA	Ramaswami et al. 2008
EUA: Denver, Routt, Sarasota	29–32 t CO ₂ -eq/cap	2008	IOA	Chavez e Ramaswami 2013
EUA: Seattle	25 t CO ₂ -eq/cap	2008	IOA	Lazarus et al. 2013
EUA: oito cidades	15–26 t CO ₂ -eq/cap		MFA	Hillman e Ramaswami 2010
EUA: Bairros no Condado de Maricopa, Arizona	6–21 t CO ₂ /cap	2006	Modelo I-O nacional	Petsch et al. 2011
EUA: Famílias em 28 regiões metropolitanas	38–52 t CO ₂ -eq/agregado familiar	2005	IOA e LCA	Jones e Kammen 2011
EUA: todas as cidades, municípios e áreas metropolitanas	25–80 t CO ₂ -eq/agregado familiar nas 50 maiores áreas metropolitanas	2007	IOA e LCA	Jones e Kammen 2014
Oceânia				
Austrália: Famílias em Melbourne e Sydney	77–91 t CO ₂ -eq/agregado familiar	2007	MRIOA	Lenzen e Peters 2010
Austrália: Melbourne	25.1 t CO ₂ -eq/cap	2009	MRIOA	Wiedman et al. 2016

⁴ tce-toneladas de carvão equivalente;

⁵ MFA-Material Flow Analysis

A pegada de carbono foi assim estimada para várias cidades europeias, chinesas e americanas, como mostrado na tabela 3, fornecendo novas compreensões sobre a relação entre o consumo urbano, os estilos de vida e os impactos ambientais em vários lugares do mundo. Uma descoberta típica para as grandes cidades é a de Feng et al (2014), que calcularam que mais de 70% das emissões de CO₂ relacionadas com o consumo de bens em Pequim, Xangai e Tianjin ocorrem fora do limite da cidade (ao mesmo tempo, essas cidades também apresentam emissões substanciais baseadas na produção).

Pela análise da literatura, também se observou que a metodologia da análise *input-output* surgiu como o método predominante e amplamente adotado pelos investigadores no cálculo da pegada de carbono das cidades.

No entanto, os estudos da pegada de carbono à escala urbana tinham duas limitações principais com o modelo de *input-output*. Primeiro, nos lugares onde não existiam dados *input-output* à escala da cidade, os dados dos fluxos nacionais inter-industriais eram correntemente usados, assumindo que a estrutura económica de uma cidade é idêntica às regiões vizinhas, ou seja, não levando em conta as diferenças nas intensidades setoriais de emissões de GEE dentro e fora da cidade. A segunda limitação principal encontrada na maioria dos estudos anteriores foi que as emissões de GEE estavam diretamente ligadas ao consumo final sem mostrar os fluxos ao longo das cadeias de fornecimento (nos processos intermediários), ignorando, assim, detalhes úteis para a análise das diferentes emissões intermediárias.

Tal como referido, o modelo *input-output* apresenta algumas limitações que dificultam a construção de relatórios precisos e consistentes, e por isso, nos últimos anos, algumas cidades no contexto europeu decidiram escolher outras metodologias mais abrangentes para calcular a pegada de carbono, tais como: o PAS2070, desenvolvido pelo Conselho da Cidade de Londres, juntamente com a BSI em 2013; e o GPC, desenvolvido em conjunto pelo Instituto Mundial de Recursos (WRI), os Governos Locais pela Sustentabilidade (*International Council for Local Environmental Initiatives-ICLEI*) e a *Climate Leadership Group* (C40) em 2014.

Como explicado anteriormente, o modelo PAS2070 fornece uma estrutura robusta para produzir inventários de emissões de GEE. Este modelo captura as emissões de GEE indiretas que não são contabilizados em inventários de GEE mais tradicionais, tais como as emissões associadas às importações e exportações. Assim, Londres, em 2014 (utilizando os dados referentes ao ano 2010), assumiu uma liderança global ao incluir a abordagem do consumo baseado num inventário oficial de relatórios de GEE, alterando os valores reportados de 5,5 para 10-14,5 tCO₂eq per capita ao comparar a produção nacional das emissões com os resultados do PAS2070 (DPSC e CB) (BSI, 2014).

Este fato também é observado em várias cidades europeias, como Oslo, a capital e a maior cidade da Noruega, cujas importações representam 45% da pegada de carbono da cidade (Larsen e Hertwich, 2010), ou Bruxelas que quadruplica as suas emissões de GEE na contabilização das emissões associadas com bens e serviços importados (Athanassiadis et al., 2016).

Como Londres tem um estudo de caso detalhado que segue a metodologia PAS 2070 (DPSC e CB), foi utilizado inicialmente como referência para a elaboração do inventário das emissões de Madrid. Porém, em comparação com Londres, Madrid ainda não desenvolveu as matrizes EEIO (*environmentally-extended input output*), por esta razão não foi possível utilizar o PAS metodologia 2070 para reportar as suas emissões. Desta maneira, em 2015, Madrid decidiu adotar outros padrões internacionais, como o *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories* (GPC) para reportar as emissões de GEE em 2012, obtendo um valor de 4 t CO₂e per capita.

METODOLOGIA E APLICAÇÃO

2.1. METODOLOGIA DE CÁLCULO DA PEGADA DE CARBONO PARA A CIDADE DO PORTO

Após o estudo das metodologias existentes para o cálculo da pegada de carbono, é necessário proceder à escolha da metodologia que mais se adequa/adapta à Cidade do Porto.

Metodologias como o PAS2070 e o GPC têm sido adotadas recentemente pelas cidades europeias em vez das metodologias mais tradicionais com a análise *input-output*. A cidade do Porto, tal como Madrid, não disponibiliza matrizes EEIO, o que impossibilita o cálculo da pegada de carbono através da metodologia PAS 2070 e nos sugere o uso da metodologia do GPC.

Outro motivo para a opção do GPC baseia-se na classificação da pegada de carbono urbano, segundo Lombardi et al. (2017), de acordo com o “limite espacial” e a “tipologia comunitária”.

Na coleta de dados de atividades disponíveis referentes à cidade do Porto, só foi possível encontrar as matrizes de consumo de energia e de emissões de CO₂ que têm lugar dentro da cidade, sendo as emissões do âmbito 3 desconhecidas, pois não foi possível conhecer as emissões fronteiriças. O desconhecimento das emissões do âmbito 3 levanta uma condicionante importante na escolha do sistema contabilístico.

Como apenas é sabida a informação sobre as emissões do âmbito 1 (todas as emissões de GEE provenientes do transporte de pessoas e de mercadorias que ocorrem dentro dos limites da cidade) e 2 (emissões de eletricidade fornecida à rede utilizada na cidade), é natural a opção pelo sistema territorial na decisão do sistema contabilístico pois o sistema territorial calcula as emissões que ocorrem dentro das suas fronteiras, incluindo as emissões do âmbito 1 e do âmbito 2 que temos ao nosso dispôr.

Assim, o sistema territorial sugere o uso do método de inventário baseado no padrão do IPCC (Lombardi et al. 2017). Existem vários Protocolos que se baseiam em diretrizes do IPCC na construção dos seus quadros de inventário, sendo o Protocolo Global para Emissões de GEE de Escala Comunitária (GPC), emitido pela WRI⁶ / C40⁷ / ICLEI⁸ em dezembro de 2014 o modelo mais recente.

O GPC foi construído com base nas orientações fornecidas pelo IPPC, utilizadas mundialmente, que fornecem orientações detalhadas sobre a recolha de dados e o cálculo das emissões de GEE,

⁶ WRI é uma organização global de pesquisa que trabalha em estreita colaboração com líderes para transformar grandes ideias em ação para manter um ambiente-a saudável fundação da oportunidade económica e bem-estar humano.

⁷ C40 é uma rede de megacidades do mundo comprometeram a combater as alterações climáticas tanto local como globalmente. Fundada em 2005, C40 é composta por 70 cidades de todo o mundo e oferece um fórum eficaz onde as cidades podem colaborar, compartilhar conhecimento e impulsionar a ação significativa, mensurável e sustentável sobre as alterações climáticas.

⁸ ICLEI é uma associação líder de cidades e governos locais dedicados ao desenvolvimento sustentável. ICLEI representa um movimento de mais de 1.000 cidades e vilas em 88 países. ICLEI promove ação local para a sustentabilidade global e suporta cidades para se tornar sustentável, resiliente e utilização eficiente dos recursos, biodiversidade e baixo carbono.

e divide as fontes de emissão em âmbitos e setores que foram globalmente adotadas. Esta metodologia tem sido adotada por muitos programas e iniciativas.

A metodologia GPC fornece uma estrutura para a geração de inventários de emissões de GEE, onde três âmbitos precisam de ser objetivamente definidos, a fim de cobrir todas as emissões de GEE relevantes (WRI de 2014):

- O âmbito 1, que responde às emissões de GEE da energia estacionária, do transporte, de resíduos, de Processos Industriais e Uso do Produto (IPPU) e da Agricultura e Outros Usos da Terra (AFOLU), ou seja, das fontes localizadas fisicamente dentro da fronteira da cidade;
- O âmbito 2, que considera as emissões de GEE causadas pelo consumo da eletricidade fornecida à rede, dos processos de aquecimento e/ou resfriamento dentro de limites da cidade;
- O âmbito 3, que responde por emissões de GEE fora do limite da cidade, como consequência das atividades que ocorrem dentro a fronteira da cidade, tais como perdas na distribuição associados com a energia fornecida à rede, dos resíduos gerados na cidade, mas dispostos ou tratados fora dos limites da cidade, e as emissões incorporados nos bens e serviços consumidos que ocorrem fora da fronteira da cidade.

As diretrizes GPC dão às cidades a opção de selecionar entre dois níveis de notificação: BASIC ou BASIC +. Estes níveis cobrem âmbitos específicos em diferentes categorias de atividades, sendo o nível BASIC+ a que fornece uma análise mais ampla. O relatório de nível BASIC+ inclui as três categorias básicas (energia estacionária, transporte e resíduos) e agrega IPPU, AFOLU e quaisquer outras emissões que ocorrem fora do limite geográfico devido a atividades urbanas.

2.2. ELABORAÇÃO DO INVENTÁRIO

Definida a metodologia a aplicar à cidade em estudo, procede-se à realização do inventário, que é uma das fases mais importantes no cálculo da pegada de carbono, pois a qualidade dos dados reflete-se na qualidade do resultado final.

2.2.1. LIMITE DO INVENTÁRIO

Para usar o GPC, as cidades devem primeiro definir o limite do inventário a realizar, ou seja, identificar a área geográfica, o período de tempo, os gases abrangidos e as fontes de emissão.

- Área geográfica

Qualquer fronteira geográfica pode ser usada para o inventário de GEE. No presente estudo a fronteira geográfica a utilizar será o limite geográfico da Cidade do Porto. O Porto é a segunda cidade e o quarto município mais populoso de Portugal, situada no noroeste do país e capital da Área Metropolitana do Porto, da Região Norte e do Distrito do Porto. A cidade é considerada uma cidade global gama⁹. O município, com 41,42 km² de área, tem uma população de 214 349¹⁰ habitantes dentro dos seus limites administrativos, sendo constituído por sete freguesias.

A população residente no Município do Porto no ano de referência é desconhecida neste momento, mas no documento “Pessoas e Atividades” de Abril de 2018 da Revisão do Plano Diretor

⁹ Cidades global gama são cidades que ligam regiões económicas menores à economia mundial

¹⁰ Dados populacionais retirados do INE (2016)

Municipal foi possível encontrar a previsão da população no Município para o ano de 2020, em três cenários:

- Cenário 1 : Pop2020= 229 324
- Cenário 2 : Pop2020= 218 481
- Cenário 3 : Pop2020= 215 414

Assim, para o ano 2020, vai-se adotar um valor intermédio dos três cenários acima apresentados, ou seja, a estimativa para o número de residentes no Município do Porto seria de cerca de 220 000 habitantes.

- Período de tempo

O GPC é projetado para contabilizar as emissões de GEE num único ano de referência. O inventário deve cobrir um período contínuo de 12 meses. As metodologias de cálculo do GPC geralmente quantificam as emissões libertadas durante o ano de referência, neste caso o ano de referência vai ser o ano com dados disponíveis de emissões de CO₂ para a aplicação da metodologia (2020).

- Gases

O GPC abrange os sete estufa de Quioto atualmente exigidos para a maioria dos relatórios de inventário nacional de gases com efeito de estufa no âmbito do Protocolo de Quioto: o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O), os hidrofluorcarbonetos (HFC), os perfluorcarbonetos (PFC), o hexafluoreto de enxofre (SF₆) e o trifluoreto de azoto (NF₃)¹¹.

- Fontes de Emissão

As emissões de GEE provenientes da cidade devem ser classificados em seis setores principais, segundo o GPC :

1. Energia estacionária : Fontes de energia estacionária são um dos maiores contribuintes para as emissões de GEE de uma cidade. Estas emissões vêm do processo de combustão em edifícios residenciais, comerciais e institucionais e das indústrias transformadoras e da construção, bem como das centais elétricas de geração da energia fornecida à rede. Este setor também inclui as emissões fugitivas, que normalmente ocorrem durante a exploração, a transformação e o transporte de combustíveis fósseis primários.
2. Transporte : O setor dos transportes abrange todas as viagens realizadas por transporte rodoviário, ferroviário, marítimo e aéreo, incluindo viagens inter-cidades e viagens internacionais. As emissões de GEE são produzidas diretamente pela combustão de combustível ou indiretamente pelo uso da eletricidade fornecida à rede. A recolha de dados precisos para as atividades de transporte, cálculo de emissões e atribuição dessas emissões às cidades pode ser um processo particularmente desafiador. Para albergar as variações na disponibilidade de dados e nos modelos de transporte existentes, a GPC oferece uma flexibilidade adicional no cálculo das emissões no setor dos transportes na medida em que dispõe quatro metodologias distintas para o cálculo deste setor.

¹¹ NF₃ é o sétimo GEE a ser adicionado à contabilidade internacional e as regras de relatório sob a UNFCCC / Protocolo de Quioto. Foi adicionado ao segundo período de cumprimento do Protocolo de Quioto, começando em 2012 e terminando em 2017 ou 2020.

3. Desperdício : A descarga e o tratamento de resíduos produzem emissões de GEE por meio da decomposição aeróbica, anaeróbica, ou incineração. As emissões de GEE provenientes de resíduos sólidos devem ser calculadas nos processos de tratamento de resíduos: aterro, tratamento biológico e incineração e queima a céu aberto.
4. Os processos industriais e a utilização do produto (IPPU) : As emissões de GEE são produzidas a partir de uma ampla variedade de atividades industriais não relacionadas com a energia. As principais fontes de emissão são as libertações de processos industriais que quimicamente ou fisicamente transformam materiais (por exemplo, o alto-forno na indústria de ferro e aço, amônia e outros produtos químicos fabricados a partir de combustíveis fósseis). Durante esses processos, muitos gases com efeito de estufa diferentes podem ser produzidos. Além disso, certos produtos utilizados pela indústria e pelos consumidores finais, tais como os refrigerantes, espumas ou aerossóis, também contêm GEE's que podem ser libertados durante a utilização e a eliminação do mesmo.
5. Agricultura, silvicultura e outros usos da terra (AFOLU) : As emissões do setor de agricultura, silvicultura e outros usos da terra (AFOLU) são produzidas por uma variedade de fontes, incluindo a pecuária (fermentação entérica e o tratamento de dejetos), o uso da terra e as mudanças no uso da terra (por exemplo, a florestação e a desflorestação das terras) e as fontes de emissão da aplicação de fertilizantes. Dada a natureza altamente variável do uso da terra e das atividades agrícolas, as emissões de GEE da AFOLU estão entre as categorias mais complexas para a contabilização de GEE.
6. Quaisquer outras emissões que ocorram fora do limite geográfico como resultado de atividades da cidade. Essas emissões não são abordados nesta versão do GPC, mas podem ser reportados separadamente.

2.3. RECOLHA DE DADOS

Na fase da recolha de dados recorreu-se à consulta da Matriz Energética do Porto que reporta os consumos de energia primária, energia final, energia útil e todas as emissões associadas a estes consumos energéticos referentes ao Município do Porto. No entanto existe um problema no uso desses mesmos dados: a informação da Matriz Energética do Porto é referente a um ano muito distante (2004) da atualidade, o que indica que os dados já são muito desatualizados e é necessário proceder à atualização destes mesmos a partir de estimativas.

A solução adotada para a atualização dos dados foi baseada no Plano de Ação para a Energia Sustentável que prevê uma redução de consumos energéticos e de emissões de CO₂ para o ano 2020 com a execução de intervenções em vários eixos assentes num diagnóstico energético e numa estratégia de sustentabilidade urbana, que convergem com os objetivos da Comissão Europeia para 2020: 20% de maior eficiência e 20% de redução das emissões de CO₂, resultado da intervenção à escala da Cidade nas atividades e sectores utilizadores da energia como são o edificado e os transportes e pela intervenção nos sistemas e vetores energéticos específicos.

Os principais eixos de intervenção no domínio da energia da Estratégia para a Sustentabilidade da Cidade do Porto são: o aumento da penetração do gás natural, a substituição dos usos de eletricidade para fins de calor por gás natural, a Promoção do uso de água quente solar, a promoção de edifícios energeticamente mais eficientes e sustentáveis e a Promoção de transportes coletivos, veículos elétricos, pistas cicláveis e percursos pedonais.

2.3.1. MATRIZ ENERGÉTICA DO PORTO 2004

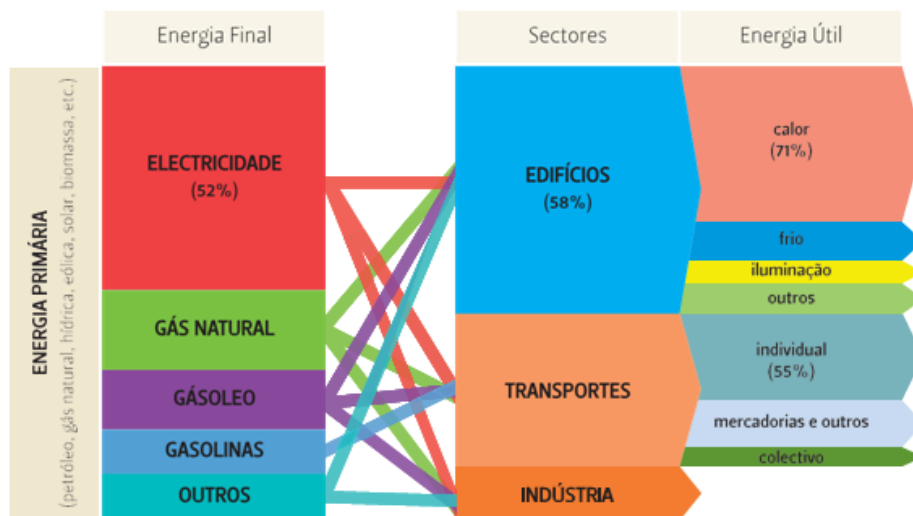


Figura 1 - Matriz Energética do Porto de 2004

A Matriz Energética é reportada aos dados de 2004, por razões de disponibilidade de informação, os resultados permitem identificar um ainda excessivo domínio da eletricidade como energia final que, se for expressa em termos de energia primária equivalente, atinge os 52%, o que sem dúvida é de atribuir ao efeito continuado do peso histórico que a eletricidade teve na Cidade ao longo de quase meio século. Assim, sendo a eletricidade o vetor dominante (ainda fortemente dependente de combustíveis fósseis e de tecnologias de conversão de reduzida eficiência), a taxa de emissão de CO₂ associada à energia está particularmente agravada no Porto.

Por outro lado, pode ainda aferir-se a baixa taxa de penetração do gás natural (5%). Quanto à distribuição dos consumos pelos vários sectores de atividade utilizadores de energia destacam-se os edifícios com 58% da energia primária total afeta à Cidade.

2.3.1.1. Energia primária, energia final, energia útil e emissões de GEE da cidade do porto

A energia apresenta-se sob três formas: energia primária, energia final e energia útil. A conversão entre cada uma far-se-á, em geral, com perdas que refletem as limitações da física ou das tecnologias. A energia útil é aquela que é absolutamente necessária para assegurar a função (por exemplo, o transporte, a cozinha, a iluminação, etc.) enquanto a energia primária é o recurso energético que se encontra disponível na natureza. A energia final é o vetor comercializável na cidade. No entanto, há energias primárias que são finais (gás natural, lenha, etc.).

Para obter os dados referentes aos consumos da energia primária, energia final, energia útil no município do Porto recorreu-se à consulta da Matriz Energética do Porto de 2008 referenciada ao ano de 2004 por razões de disponibilidade da informação necessária.

2.3.1.2. Energia primária

Conjugando as percentagens de cada vetor energético dentro do setor de atividade fornecidos pela Matriz Energética, torna-se possível a construção da Matriz de vetores em energia primária vs. setores no Município do Porto (GWh/ano):

Tabela 4- Matriz de vetores em energia primária vs. setores no Município do Porto (GWh/ano)

	Edifícios				Outros	Total	% nos vetores
	Residencial	Serviços	Transportes	Indústria			
Eletricidade	1148	1431	19	218	170	2986	52,7%
Gasóleo	0	0	1065	0		1065	18,8%
Gasolinas	0	0	729	0		729	12,9%
Gás Natural	103	91	56	41		290	5,1%
Fuel-óleo	0	127	0	65		191	3,4%
Gasóleo colorido	0	145	0	0		145	2,6%
Lenha	132	0	0	0		132	2,3%
Butano+Propano	88	18	0	14		120	2,1%
Outros	0	0	0	3		3	0,1%
Total	1472	1812	1868	340		170	5662
% nos setores	26%	32%	33%	6%	3%		100%

Repare-se que a energia primária associada aos edifícios, que representa cerca de 60% da energia primária do Município do Porto, foi desagregada entre edifícios residenciais e de serviços. Na perspetiva da oferta a matriz energética dos edifícios residenciais é claramente dominada pela eletricidade (cerca de 80% da energia primária e de 85% das emissões de CO₂). É interessante notar que, a nível nacional, o peso deste vetor no setor residencial é francamente menor representando apenas por cerca de 60%. Este facto indicia que a taxa de penetração dos equipamentos elétricos em utilizações passíveis de concorrência por outros vetores, de origem fóssil ou renovável, é maior no Porto face à média nacional. Ainda referente à utilização de energia primária nos edifícios residenciais, a seguir à eletricidade surgem, com pesos muito idênticos, a lenha (9%), o gás natural (7%) e o GPL (6%) (AdEPorto 2008).

2.3.1.3. Energia final

Sabendo que o vetor energético da eletricidade representa 33% da energia final total e toma o valor de 1328 GWh/ano, chega-se à conclusão de que a totalidade das energias finais tem o valor de $1328/0,33=4024$ GWh/ano. Com a repartição da energia final (EF) pelos diferentes vetores energéticos em percentagens é possível calcular a quantidade de energia primária anual referente a cada vetor energético expressa em GWh, multiplicando 4024 GWh pela percentagem correspondente a cada vetor.

Conjugando as percentagens dos vários vetores energéticos dentro dos setores de atividades torna-se possível a construção da Matriz de vetores em energia final vs. setores no Município do Porto (GWh/ano):

Tabela 5- Matriz de vetores em energia final vs. setores no Município do Porto (GWh/ano)

	Edifícios				Outros	Total	% nos vetores
	Residencial	Serviços	Transportes	Indústria			
Eletricidade	515,45	658,98	18,11	88,44	121	1401,98	35,0%
Gasóleo	0	0	1032,27	0		1032,27	25,7%
Gasolinas	0	0	706,29	0		706,29	17,6%
Gás Natural	101,4	104,6	54,33	38,19		298,52	7,4%

Fuel-óleo	0	125,52	0	58,29		183,81	4,6%
Gasóleo colorido	0	146,44	0	0		146,44	3,6%
Lenha	143,65	10,46	0	0		154,11	3,8%
Butano+Propano	84,5	0	0	14,07		98,57	2,4%
Outros	0	0	0	2,01		2,01	0,0%
Total	845	1046	1811	201	121	4024	
% nos setores	21%	26%	45%	5%	3%		100%

2.3.1.4. Energia útil

A energia que acaba por efetivamente chegar a “fornecer um serviço”, já depurada de todas as perdas por conversão para formas não-úteis, designa-se por “energia útil”. Em última análise, é (apenas) esta a energia que pode ser identificada com os serviços propiciados ao utilizador (AdEPorto 2014).

Na perspetiva da procura, 71% da energia primária dos edifícios residenciais são justificados por três utilizações relacionadas com a produção de calor: o aquecimento de água sanitária, a preparação de refeições e o aquecimento ambiente (AdEPorto 2008).

Em termos de emissões, a procura é dominada pelo aquecimento de água sanitária – AQS (26%) e pela preparação de refeições (22%), aos quais se seguem o frio doméstico (18%) e o aquecimento ambiente (15%) (AdEPorto 2008).

Tabela 6- Desagregação da energia primária (EP), energia final (EF) e das emissões de CO₂ pelas diferentes utilizações do subsector residencial

Residencial	1472 GWh (26% da EP)	(GWh)	845 GWh (21% da EF)	(GWh)	299989 ton CO ₂ (23% do CO ₂ do Porto)	(toneladas)
Preparação de Refeições	24%	353	27%	228	22%	65998
AQS	24%	353	23%	194	26%	77997
Aquecimento Ambiente	23%	339	28%	237	15%	44998
Frio Doméstico	14%	206	11%	93	18%	53998
Iluminação	5%	74	4%	34	7%	20999
Outros	10%	147	7%	59	12%	35999
Total	100%	1472	1	845	100%	299989

A desagregação da procura só é possível quando organizada por tipologias. Assim, em termos de uso de energia primária, pode-se destacar o peso do comércio (22%), da banca e seguros (15%) e do turismo (11%). Todas as restantes tipologias têm pesos inferiores a 10%. No entanto, reconhece-se uma clara falta de informação a este nível uma vez que a desagregação é dominada pela categoria “outros” (AdEPorto 2008).

Tabela 7- Desagregação da energia primária (EP), energia final (EF) e das emissões de CO₂ pelas diferentes utilizações do subsector serviços

Serviços	1812 GWh (32% da EP)	(GWh)	1046 GWh (26% da EF)	(GWh)	417376 ton CO ₂ (32% do CO ₂ do Porto)	(toneladas)
Comércio	22%	399	17%	178	21%	87649
Banca e seguros	15%	272	14%	146	15%	62606

Turismo	11%	199	10%	105	11%	45911
Educação	8%	145	7%	73	8%	33390
Administração Pública	7%	127	6%	63	6%	25043
Saúde	6%	109	6%	63	6%	25043
Outros	31%	562	40%	418	33%	137734
Total	100%	1812	100%	1046	100%	417376

Na perspetiva da procura, a matriz dos transportes é dominada pelo modo rodoviário liderado pelo transporte individual (55%). O transporte coletivo no seu conjunto representa apenas 7% da energia primária nos transportes, sendo 1% ferroviário (comboio e metro) e os restantes 6% rodoviário. Refira-se a título de curiosidade que no transporte coletivo assegurado atualmente pela STCP o peso energético do gás natural é superior ao do gasóleo (AdEPorto 2008).

Tabela 8- Desagregação da energia primária (EP), energia final (EF) e das emissões de CO₂ pelas diferentes utilizações do subsector transportes

Transportes	1868 GWh (33% da EP)	(GWh)	1811 GWh (45% da EF)	(GWh)	469548 ton CO ₂ (36% do CO ₂ do Porto)	(toneladas)
Transporte Individual	55%	1027	55%	996	54%	253556
Transporte de mercadorias e outros	38%	710	38%	688	39%	183124
Transporte coletivo rodoviário	6%	112	6%	109	6%	28173
Transporte coletivo ferroviário	1%	19	1%	18	1%	4695
Total	100%	1868	100%	1811	100%	469548

Na perspetiva da procura, a matriz da indústria é dominada pelas “Outras Indústrias Transformadoras” (63%). Tal deve-se principalmente à grande diversidade das tipologias incluídas nesta categoria. A indústria transformadora com maior representatividade nesta categoria é a do sector têxtil, representando cerca de 20% da energia primária na indústria. As restantes energias primárias têm a sua maior fatia nas indústrias alimentares, que justificam 36%.

Tabela 9- Desagregação da energia primária (EP), energia final (EF) e das emissões de CO₂ pelas diferentes utilizações do subsector indústria

Indústria	340 GWh (6% da EP)	(GWh)	201 GWh (5% da EF)	(GWh)	78258 ton CO ₂ (6% do CO ₂ do Porto)	(toneladas)
Alimentação, tabaco e bebidas	37%	125,8	31%	62	37%	28955
Outras transformadoras	63%	214,2	69%	139	63%	49303
Total	100%	340	100%	201	100%	78258

2.3.1.5. Emissões de GEE

A partir da desagregação das emissões de CO₂ na indústria associadas a cada vetor energético foi possível construir a Matriz de vetores em emissões de GEE vs. setores para o Município do Porto (t CO₂eq./ano).

Tabela 10-Matriz de vetores em emissões de GEE vs. setores para o Município do Porto (t CO₂eq./ano)

	Edifícios		Transportes	Indústria	Outros	Total	% nos vetores
	Residencial	Serviços					
Eletricidade	257991	317206	4695	47737	39129	666758	51,0%
Gasóleo	0	0	272338	0		272338	20,9%
Gasolinas	0	0	178428	0		178428	13,7%
Gás Natural	20999	20869	14086	8608		64563	5,0%
Fuel-óleo	0	37564	0	17999		55563	4,3%
Gasóleo colorido	0	37564	0	0		37564	2,9%
Lenha	0	0	0	0		0	0,0%
Butano+Propano	20999	4174	0	3130		28303	2,2%
Outros	0	0	0	783		783	0,1%
Total	299989	417376	469548	78258		39129	1304300
% nos setores	23%	32%	36%	6%	3%		100%

Ao nível das emissões de GEE, a eletricidade é o vetor responsável pela maior fatia com 51%, seguida pelo gasóleo com 21%. Dos restantes vetores energéticos os principais são a gasolina e o gás natural. Quanto aos setores de atividade, o setor que mais contribui para emissões de GEE é o setor dos edifícios que representa no seu conjunto 55% das emissões, seguida do setor de transportes com 36%.

2.4. ESTIMATIVA DAS EMISSÕES ATUAIS

Em outubro de 2010, foi aprovado pelo executivo o Plano de Ação para Energia Sustentável (PAES) e da Estratégia para a Sustentabilidade elaborado pela AdEPorto – Agência de Energia do Porto por solicitação e em estreita colaboração com a Câmara Municipal do Porto tendo sido ouvido o Conselho Municipal de Ambiente.

O Plano é assente num diagnóstico energético e numa estratégia de sustentabilidade urbana, que converge com os objetivos da Comissão Europeia para 2020: 20% de maior eficiência e 20% de redução das emissões de CO₂, resultado da intervenção à escala da Cidade nas atividades e sectores utilizadores da energia como são o edificado e os transportes e pela intervenção nos sistemas e vetores energéticos específicos. Os principais eixos de intervenção no domínio da energia da Estratégia para a Sustentabilidade da Cidade do Porto são: o aumento da penetração do gás natural, a substituição dos usos de eletricidade para fins de calor por gás natural, a Promoção do uso de água quente solar, a promoção de edifícios energeticamente mais eficientes e sustentáveis e a Promoção de transportes coletivos, veículos elétricos, pistas cicláveis e percursos pedonais.

Está assim previsto que o Porto reduza as suas emissões de CO₂ em 45% até 2020 com referência a 2004, sendo que cerca de metade desse resultado é fruto da política nacional na última década

em favor da eletricidade renovável e a outra metade resultará da ação no âmbito do Município(Câmara Municipal do Porto 2010).

Como são conhecidas as metas para as emissões de dióxido de carbono em 2020, vai-se tomar esse ano como ano de referência do presente trabalho pois é possível conhecer os valores das emissões a partir de cálculos.

Tendo em conta os vários eixos de intervenção do Plano¹² sobre os diversos setores de atividade, é possível a obtenção dos consumos da energia final no ano 2020, expressa em GWh/ano, subtraindo as reduções totais de EF e somando os aumentos de consumo previstos ao consumo inicial de EF (referente ao ano 2004).

Tabela 11- Cálculo da energia final em 2020 (GWh/ano) (Câmara Municipal do Porto 2010; AdEPorto 2008)

	Utilização da energia final em 2004 (GWh/ano)	Mudança da eletricidade e do GPL para gás natural (GWh/ano)	Criação de uma rede urbana de calor e de frio (GWh /ano)	Novas instalações de cogeração (GWh /ano)	Instalação de coletores solares (GWh /ano)	Mudanças em Edifícios (GWh /ano)	Mudanças nos Transportes (GWh /ano)	Outros (GWh /ano)	Aumentos Previstos (GWh /ano)	Reduções de energia final (GWh /ano)	Energia Final em 2020 (GWh /ano)
Edifícios	1891	16			40	273,68			30,335	329,28	1592,055
Transportes	1811						352,5		30,335	352,5	1488,835
Indústria	201			24,2					30,335	24,2	207,135
Outros	121		67,2					14,67	30,335	81,87	69,465
										Total das reduções: 787,85	Total da energia final: 3357,49

¹² Consultar as tabelas do anexo

Da mesma forma é possível calcular as emissões de CO₂ do ano 2020 (subtraindo as reduções totais das emissões de CO₂ e somando os aumentos previstos das emissões às emissões iniciais de CO₂ referentes ao ano base 2004):

Tabela 12-Cálculo das Emissões de CO₂ em 2020 (t CO₂/ano) (Câmara Municipal do Porto 2010; AdEPorto 2008)

	Emissões de CO ₂ em 2004 (tCO ₂ /ano)	Mudança da eletricidade e do GPL para gás natural (t CO ₂ /ano)	Criação de uma rede urbana de calor e de frio (t CO ₂ /ano)	Novas instalações de cogeração (t CO ₂ /ano)	Instalação de coletores solares (t CO ₂ /ano)	Mudanças em Edifícios (t CO ₂ /ano)	Mudanças nos Transportes (t CO ₂ /ano)	Outros (tCO ₂ /ano)	Aumentos Previstos (t CO ₂ /ano)	Reduções de emissões de CO ₂ (t CO ₂ /ano)	Emissões de CO₂ em 2020 (tCO₂/ano)
Edifícios	717365	13200			17 400	126650			6185	157250	566300
Transportes	469548						99020		6185	99020	376713
Indústria	78258			5800					6185	5800	78643
Outros	39129		30700					7200	6185	37900	7414
										Total das reduções: 299970 t CO ₂	Total das emissões: 1029070 t CO ₂

2.4.1. CONFIRMAÇÃO DAS ESTIMATIVAS

Pelas previsões efetuadas pela AdEPorto (2008) sobre a evolução das emissões de CO₂ na cidade do Porto, obteve-se os resultados para as emissões de CO₂ no ano 2020. No entanto, é necessário verificar se essa previsão realizada em 2008 está de acordo com a realidade das emissões na atualidade. Para isso, vai-se proceder ao cálculo das emissões de CO₂ a partir dos dados disponíveis mais recentes.

Primeiro, começou-se por pesquisar os dados de atividade referentes à Cidade do Porto e foi encontrada uma tabela na PORDATA com os consumos anuais da eletricidade por setores económicos em kWh (neste caso, os dados mais recentes são referentes ao ano 2016).

Como exemplo de verificação, vai-se calcular emissões no setor da Indústria. A consulta da tabela disponibilizada permitiu observar que se registou um total de 132 117 092¹³ kWh neste setor no ano 2016 (soma dos consumos anuais das indústrias extrativas com os das indústrias transformadoras).

Na matriz energética de 2004, observou-se que dentro do setor da Indústria, 44%¹⁴ do consumo era baseado na eletricidade e 56% baseado noutros tipos de combustíveis.

Supondo que as taxas de utilização se mantêm aproximadamente constantes, chega-se à totalidade da energia consumida pelo setor da Indústria pela seguinte expressão:

$$\text{Consumo de energia total no setor da Indústria em 2016} = \frac{132\,117\,092}{0,50} = 264\,234\,184 \text{ kWh/ano}$$

Conhecendo a energia total no setor, torna-se possível o cálculo das emissões de CO₂ através da multiplicação desse valor por um fator de emissão. Segundo o Protocolo GPC, o fator de emissão a utilizar deve ser aquele especificado pelo fornecedor da energia (neste caso, vai ser aplicado o fator de emissão fornecido pela EDP¹⁵).

$$\text{Emissões de CO}_2 \text{ no setor da Indústria em 2016} = 264\,234\,184 \times 0,28 = 73\,986 \text{ t CO}_2$$

Assim, chega-se à conclusão de que o valor anual calculado para as emissões no setor da Indústria em 2016 (73 986 t CO₂/) não difere muito do valor estimado pela AdE para 2020 (78643 t CO₂). Desta maneira, conclui-se que os valores das emissões de CO₂ estimados pela AdE para 2020 são fiáveis para o preenchimento do Relatório GPC.

¹³ Consumo de energia elétrica no setor da Indústria em 2016 = 571 853 + 131 545 239 = 132 117 092 kWh/ano

¹⁴ Percentagem de eletricidade no setor da Indústria em 2004 = $\frac{88,44}{201} = 44\%$

¹⁵ Fator de emissão de CO₂: 0,280 kg/kWh

2.5. PREENCHIMENTO DO RELATÓRIO GPC

O protocolo GPC fornece uma contabilidade sólida e transparente e um sistema de comunicação para as emissões de GEE em toda a cidade, este modelo requer que as cidades reportem as suas emissões usando duas abordagens distintas, mas complementares (GPC 2014):

- A estrutura de âmbito¹⁶ permite que as cidades reportem exaustivamente todas as emissões de GEE atribuíveis a atividades que ocorrem dentro do limite geográfico da cidade, categorizando as fontes de emissão em fontes internas (âmbito 1), fontes de energia fornecidas pela rede (âmbito 2) e fontes fora do limite da cidade (âmbito 3). Neste trabalho apenas se considera as emissões do âmbito 1 e 2, pela impossibilidade de calcular as emissões que ocorrem fora da cidade (emissões do âmbito 3).
- A estrutura induzida pela cidade¹⁷ oferece às cidades a opção de selecionar entre dois níveis de relatório: BASIC ou BASIC +. O relatório de nível BASIC abrange todas as emissões do âmbito 1 e do âmbito 2. O relatório de nível BASIC + envolve processos de cálculo e de recolha de dados mais desafiadores, além de incluir emissões de IPPU e AFOLU e do transporte transfronteiriço. Nesta dissertação opta-se pela elaboração do relatório de nível BASIC pela falta de informação disponibilizada sobre emissões de IPPU, de AFOLU e de transmissões transfronteiriças.

A cidade deve comunicar todas as informações necessárias na tabela do relatório das emissões de GEE e na tabela de resumo das emissões de GEE.

O preenchimento do modelo do Relatório das emissões de GEE do Protocolo GPC foi baseado na estimativa das emissões previstas para 2020, tendo em atenção os seguintes aspetos:

- O Plano de Ação para a Energia Sustentável prevê uma redução de **13 200 t CO₂** para 2020 através da mudança de vetor energético da eletricidade para gás natural (a grande maioria dos habitantes da Cidade do Porto ainda utiliza eletricidade como vetor energético tradicional para fins de calor. A Câmara Municipal do Porto, através da AdEPorto, tem incentivado a EDP Gás, empresa que distribui e comercializa gás natural no Porto, a uma atitude proactiva na extensão do gás natural na Cidade, também, e em particular, nos bairros de habitação social e até no Centro Histórico). Essa redução ir-se-á traduzir numa diminuição de **1,3%**¹⁸ no vetor energético da eletricidade em 2020.
- No setor dos transportes ferroviários (emissões da queima de combustíveis pelo transporte ferroviário dentro do limite da cidade e emissões de energia fornecida à rede consumida dentro dos limites da cidade para vias férreas) fez-se a estimativa de cerca de **60 mil** passageiros anuais para o metro do Porto em 2020, com base em 58 031 passageiros verificados no Relatório de Contas do Metro do Porto 2016.

¹⁶ *Scopes framework*

¹⁷ *City-induced framework*

¹⁸ $\frac{\text{Reduções}}{\text{Totalidade emissões 2020}} = \frac{13\,200}{1\,029\,070} = 1,3\%$

Tabela 13- Relatório das emissões de GEE

GPC REF.	Âmbito	Fonte de emissões de gases de efeito estufa (por sector e subsector)	Emissões de CO ₂ em t CO ₂
I		Energia estacionária	
I.1		Prédios residenciais	
I.1.1	1	As emissões da queima de combustível dentro do limite da cidade	36 233
I.1.2	2	Emissões de energia fornecida à rede consumida dentro dos limites da cidade	200 584
I.1.3	3	Emissões de perdas de transmissão e distribuição de consumo de energia fornecida à rede	-
I.2		Edifícios e instalações comerciais e institucionais	
I.2.1	1	As emissões da queima de combustível dentro do limite da cidade	83 359
I.2.2	2	Emissões de energia fornecida à rede consumida dentro dos limites da cidade	246 124
I.2.3	3	Emissões de perdas de transmissão e distribuição de consumo de energia fornecida à rede	-
I.3		Indústrias transformadoras e construção	
I.3.1	1	As emissões da queima de combustível dentro do limite da cidade	31694
I.3.2	2	Emissões de energia fornecida à rede consumida dentro dos limites da cidade	46949
I.3.3	3	Emissões de perdas de transmissão e distribuição de consumo de energia fornecida à rede	-
I.4		indústrias de energia	
I.4.1	1	Emissões de energia usados em operações de apoio para instalações de dentro do limite da cidade	/
I.4.2	2	Emissões de energia fornecida à rede consumido em operações de apoio para instalações de dentro do limite da cidade	/
I.4.3	3	Emissões de perdas de transmissão e distribuição de consumo de energia fornecida à rede de operações auxiliares de plantas poder	-
I.4.4	1	<i>Emissões de geração de energia fornecida à rede</i>	
I.5		Atividades de pesca, agricultura e silvicultura	
I.5.1	1	As emissões da queima de combustível dentro do limite da cidade	/
I.5.2	2	Emissões de energia fornecida à rede consumida dentro dos limites da cidade	/
I.5.3	3	Emissões de perdas de transmissão e distribuição de consumo de energia fornecida à rede	-
I.6		Fontes não especificadas	
I.6.1	1	As emissões da queima de combustível dentro do limite da cidade	3707
I.6.2	2	Emissões de energia fornecida à rede consumida dentro dos limites da cidade	3707
I.6.3	3	Emissões de perdas de transmissão e distribuição de consumo de energia fornecida à rede	-
I.7		Emissões fugitivas de mineração, processamento, armazenamento e transporte de carvão	
I.7.1	1	Emissões de emissões fugitivas dentro do limite da cidade	/
I.8		emissões fugitivas de sistemas de petróleo e gás natural	
I.8.1	1	Emissões de emissões fugitivas dentro do limite da cidade	/
ii		Transportes	

II.1		Transporte On-road	
II.1.1	1	As emissões da queima de combustível em estrada transporte ocorrendo dentro dos limites da cidade	370765
II.1.2	2	Emissões de energia fornecida à rede consumida dentro dos limites da cidade para on-road transporte	3745
II.1.3	3	Emissões de porção de trajectos transfronteiriços que ocorrem fora do limite da cidade, e as perdas de transmissão e distribuição de consumo de energia fornecida à rede	
II.2		Metro do Porto + CP	
II.2.1	1	As emissões da queima de combustíveis para transporte ferroviário ocorram dentro do limite da cidade	795
II.2.2	2	Emissões de energia fornecida à rede consumida dentro dos limites da cidade para vias férreas	8
II.2.3	3	Emissões de porção de trajectos transfronteiriços que ocorrem fora do limite da cidade, e as perdas de transmissão e distribuição de consumo de energia fornecida à rede	-
II.3		Navegação via aquática	
II.3.1	1	As emissões da queima de combustíveis para a navegação pela água ocorrem dentro do limite da cidade	/
II.3.2	2	Emissões de energia fornecida à rede consumida dentro dos limites da cidade para navegação via aquática	/
II.3.3	3	Emissões de porção de trajectos transfronteiriços que ocorrem fora do limite da cidade, e as perdas de transmissão e distribuição de consumo de energia fornecida à rede	-
II.4		Aviação	
II.4.1	1	As emissões da queima de combustíveis para a aviação ocorram dentro do limite da cidade	/
II.4.2	2	Emissões de energia fornecida à rede consumida dentro dos limites da cidade para a aviação	/
II.4.3	3	Emissões de porção de trajectos transfronteiriços que ocorrem fora do limite da cidade, e as perdas de transmissão e distribuição de consumo de energia fornecida à rede	-
II.5		Transporte Off-road	
II.5.1	1	As emissões da queima de combustíveis para o transporte off-road ocorram dentro do limite da cidade	/
II.5.2	2	Emissões de energia fornecida à rede consumida dentro dos limites da cidade para o transporte off-road	/
iii		Resíduos	
III.1		Disposição de resíduos sólidos	
III.1.1	1	As emissões de resíduos sólidos gerados dentro dos limites da cidade e descartados em aterros sanitários ou lixões a céu aberto dentro do limite da cidade	1300
III.1.2	3	As emissões de resíduos sólidos gerados dentro dos limites da cidade, mas dispostos em aterros sanitários ou lixões fora do limite da cidade	-
III.1.3	1	<i>As emissões de resíduos gerados fora dos limites da cidade e descartados em aterros sanitários ou lixões a céu aberto dentro do limite da cidade</i>	
III.2		Tratamento biológico de resíduos	
III.2.1	1	As emissões de resíduos sólidos gerados dentro dos limites da cidade que é tratada biologicamente dentro dos limites da cidade	26600 1900
III.2.2	3	As emissões de resíduos sólidos gerados dentro dos limites da cidade, mas tratada biologicamente fora dos limites da cidade	-

III.2.3	1	As emissões de resíduos gerados fora dos limites da cidade, mas tratada biologicamente dentro dos limites da cidade	
III.3		Incineração e queima a céu aberto	
III.3.1	1	As emissões de resíduos sólidos gerados e tratados dentro dos limites da cidade	47100
III.3.2	3	As emissões de resíduos sólidos gerados dentro dos limites da cidade, mas tratados fora dos limites da cidade	-
III.3.3	1	As emissões de resíduos gerados fora dos limites da cidade, mas tratados dentro dos limites da cidade	
III.4		Tratamento de águas residuais e descarga	
III.4.1	1	Emissões de efluentes líquidos gerados e tratados dentro dos limites da cidade	/
III.4.2	3	Emissões de águas residuais geradas dentro dos limites da cidade, mas tratados fora dos limites da cidade	-
III.4.3	1	Emissões de águas residuais geradas fora dos limites da cidade, mas tratados dentro dos limites da cidade	
iv		Os processos industriais e as utilizações do produto (Ippu)	
IV.1	1	As emissões dos processos industriais que ocorrem dentro dos limites da cidade	-
IV.2	1	Emissões do uso do produto ocorrem dentro do limite da cidade	-
v		Agricultura, silvicultura e outros usos da terra (AFOLU)	
V.1	1	Emissões de gado dentro dos limites da cidade	-
V.2	1	Emissões de terra dentro do limite da cidade	-
V.3	1	Emissões de fontes agregadas e não- CO ₂ fontes de emissão em terra dentro do limite da cidade	-
vi		Outros do âmbito 3	
VI.1	3	Outros do âmbito 3	-

- Fontes requeridos para elaborar Relatório BASIC
 - + Fontes requeridos para elaborar Relatório BASIC +
 - Fontes requeridos para o total territorial, mas não para relatórios BASIC / BASIC +
 - Fontes incluídas em Outros do Âmbito 3
 - Emissões não aplicáveis
- / - Informação Desconhecida

Tabela 14- Resumo das Emissões de GEE

Setor		Total de por âmbito (t CO ₂ e)				Total em nível de relatório induzida pela cidade (t CO ₂ e)
		Âmbito 1 (Territorial)	Âmbito 2	Âmbito 3 incluído no básicos +	Outros do âmbito 3	Básico
Energia es-tacionária	uso de energia (todas as emissões I, ex-cepto I.4.4)	154 993 (26%)	497 364 (99,3%)			652 357 (59%)
	<i>geração de energia fornecida à rede (I.4.4)</i>					
Transporte (todas as emissões II)		371 560 (62%)	3753 (0,7%)			375 313 (34%)
Resíduos	Gerado na cidade (todo III.X.1 e III.X.2).	76 900 (12%)				76 900 (7%)
	<i>Gerado fora da cidade (todos III.X.3)</i>					
Ippu (todas as emissões IV)						
AFOLU (todas as emissões V)						
Total		603 453	501 117			1 104 570

2.6. RESULTADOS

Para facilitar a comparação com os resultados das pegadas de carbono obtidos noutros países europeus, é necessário converter o resultado expresso em t CO₂e em t CO₂e per capita. Para tal é preciso dividir a quantidade total das emissões estimadas (em t CO₂e) pelo número da população residente no ano de referência, que neste caso é o ano 2020.

Com os dados demográficos fornecidos pelo INE, construiu-se um gráfico da evolução populacional do Município do Porto e obteve-se a linha de tendência do crescimento populacional (consultar a Figura 1). Assim, para o ano 2020, a estimativa para o número de residentes no Município do Porto seria de cerca de 200 000 habitantes.

Finalmente, a pegada de carbono do município do Porto, expressa em t CO₂e per capita seria de cerca de $1\,104\,570/200\,000 \approx 5$ t CO₂e per capita.

2.7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

A análise teórica das metodologias para o cálculo da pegada de carbono permitiu chegar à conclusão de que as metodologias do cálculo da pegada de carbono que mais se adequam para a aplicação à cidade do Porto são a análise *input-output*, o PAS 2070 e o Protocolo GHG (dentro do Protocolo GHG, o *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories* é o modelo mais específico para contabilizar e reportar a pegada de carbono a nível da cidade), pois são modelos de cálculo mais apropriados para o âmbito urbano.

Pela análise da literatura da especialidade verificou-se que várias metodologias de cálculo da pegada de carbono foram testadas em várias cidades do globo. Reparou-se que a metodologia da análise *input-output* surgiu como o método predominante e amplamente adotado pelos investigadores no cálculo da pegada de carbono das cidades. No entanto, os estudos da pegada de carbono à escala urbana tinham duas limitações com o modelo de *input-output* como já referido no Capítulo 2. Por isso, nos últimos anos, algumas cidades no contexto europeu decidiram escolher outras metodologias mais abrangentes para calcular a pegada de carbono, tais como: o método PAS2070, desenvolvido pelo Conselho da Cidade de Londres, juntamente com a BSI em 2013; e o GPC, desenvolvido em conjunto pelo Instituto Mundial de Recursos (WRI), os Governos Locais pela Sustentabilidade (*International Council for Local Environmental Initiatives-ICLEI*) e a *Climate Leadership Group* (C40) em 2014. Nesta dissertação foi adotada o Protocolo GPC como o modelo para o cálculo da pegada de carbono da Cidade do Porto pois este, tal como Madrid, não disponibiliza matrizes EEIO, o que impossibilita o cálculo da pegada de carbono através da metodologia PAS 2070.

Na fase da pesquisa dos dados de atividade para a elaboração do inventário, a presente dissertação teve algumas limitações como a falta de recursos para o cálculo da pegada de carbono da Cidade do Porto e o tempo limitado para a obtenção de dados mais precisos. Essas limitações refletem-se na qualidade dos dados recolhidos para a elaboração do inventário que, por sua vez, podem levar à imprecisão do valor da pegada de carbono assim obtida. Tendo em conta o tempo disponível para a realização desta dissertação, escolheu-se por calcular os consumos de energia e as emissões de CO₂ através de uma previsão realizada pela AdE para 2020 a partir dos dados da Matriz Energética do Porto de 2004. Se o trabalho fosse realizado em equipa ou se o tempo para a sua elaboração não fosse restringido apenas a um semestre, provavelmente já poderia explorar outras formas de obter dados mais exatos.

O trabalho realizado, permitiu comparar a pegada de carbono do Município do Porto com outras cidades onde se realizaram estudos semelhantes. A abordagem adotada possibilitou a obtenção do valor de 5 t CO₂e per capita para o Município do Porto, que em comparação com os valores obtidos para a maioria das outras cidades europeias, aparenta ser muito inferior.

Uma possível explicação para este fato é de que nos estudos anteriormente realizados, a pegada de carbono foi calculada com dados muito desatualizados (dados de 2004,2005,2006...), o que conduz a valores de pegada de carbono muito elevadas, uma vez que com o aumento da consciencialização pelas preocupações ambientais, surgem cada vez mais políticas e estratégias de implementação de medidas redutoras de emissões de carbono, diminuindo progressivamente, o valor da pegada de carbono urbana. Por exemplo, nos estudos mais recentes da pegada de carbono, como os casos de Madrid e Londres, os valores das pegadas (Madrid com 4 t CO₂e per capita e Londres com 6 t CO₂e per capita) já se assemelham muito mais ao valor calculado no Município do Porto, pois ambas as cidades utilizaram como dados base relatórios de consumos e de emissões relativamente recentes.

Outro motivo que possa ter levado à essa diferença do valor da pegada de carbono, pode ser devido à não inclusão das emissões do âmbito 3 (emissões transfronteiriças) e das emissões

associadas às atividades de importação e exportação da cidade. Pois como anteriormente referido, muitas cidades europeias, como Oslo e Bruxelas, reportam um incremento nas suas emissões de GEE e como consequência o aumento do valor da pegada de carbono ao contabilizar emissões associadas com bens e serviços importados (Athanassiadis et al., 2016).

Finalmente, conclui-se que é relevante observar as tendências das emissões de GEE urbanas, ao longo do tempo, a fim de reconhecer fontes importantes para o planeamento das estratégias de mitigação e adaptação às alterações climáticas, bem como estabelecer metas significativas e implementar políticas bem-sucedidas e que para tal é fundamental a elaboração de inventários precisos, comparáveis, abrangentes e completos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AdEPorto. 2008. "Matriz Energética do Porto".
- . 2014. "MATRIZ DE ENERGIA DA ÁREA METROPOLITANA DO PORTO | NORTE DO DOURO".
- Baumol, William J. 2000. "What Marshall Didn't Know: On the Twentieth Century's Contributions to Economics*". *The Quarterly Journal of Economics* no. 115 (1):1-44.
<http://dx.doi.org/10.1162/003355300554656>.
- Bhoyar, Sankesha P., Suyash Dusad, Rachit Shrivastava, Sidharth Mishra, Nishank Gupta e Anand B. Rao. 2014. "Understanding the Impact of Lifestyle on Individual Carbon-footprint". *Procedia - Social and Behavioral Sciences* no. 133:47-60.
- BSI. 2013. "PAS-2070-2013 Specification for the assessment of greenhouse gas emissions of a city:Direct plus supply chain and consumption-based methodologies".
- Bullard, C. W. e Robert Herendeen. 1973. *The Energy Costs of Goods and Services*. Vol. 3.
- Câmara Municipal do Porto , AdEPorto 2010. "Plano de Acção para a Energia Sustentável da Cidade do Porto".
- Chavez, Abel e Anu Ramaswami. 2013. "Articulating a trans-boundary infrastructure supply chain greenhouse gas emission footprint for cities: Mathematical relationships and policy relevance". *Energy Policy* no. 54:376-384.
- Chavez, Abel, Anu Ramaswami, Dwarakanath Nath, Ravi Guru e Emani Kumar. 2012. "Implementing Trans-Boundary Infrastructure-Based Greenhouse Gas Accounting for Delhi, India". *Journal of Industrial Ecology* no. 16 (6):814-828.
- Choi, Taelim. 2015. "UNDERSTANDING ENVIRONMENTAL RESPONSIBILITY OF CITIES AND EMISSIONS EMBODIED IN TRADE". *Economic Systems Research* no. 27 (2):133-153.
- Dahal, Karna e Jari Niemelä. 2017. "Cities' Greenhouse Gas Accounting Methods: A Study of Helsinki, Stockholm, and Copenhagen". *Climate* no. 5 (2):31.
- David, Dodman. 2009. "Blaming cities for climate change? An analysis of urban greenhouse gas emissions inventories". *Environment and Urbanization* no. 21 (1):185-201. Acedido a 2018/03/23.
- Dong, Huijuan, Tsuyoshi Fujita, Yong Geng, Liang Dong, Satoshi Ohnishi, Lu Sun, Yi Dou e Minoru Fujii. 2016. "A review on eco-city evaluation methods and highlights for integration". *Ecological Indicators* no. 60:1184-1191.
- GPC. 2014. "Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories".
- Hannon, Bruce. 1995. "Input-output economics and ecology". *Structural Change and Economic Dynamics* no. 6 (3):331-333.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0954349X9500022F>.
- Hertwich, Edgar G. e Glen P. Peters. 2009. "Carbon Footprint of Nations: A Global, Trade-Linked Analysis". *Environmental Science & Technology* no. 43 (16):6414-6420.
<https://doi.org/10.1021/es803496a>.
- Hillman, Tim e Anu Ramaswami. 2010. "Greenhouse Gas Emission Footprints and Energy Use Benchmarks for Eight U.S. Cities". *Environmental Science & Technology* no. 44 (6):1902-1910.
- IPCC. 2006. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

- . 2007. "IPCC2007:Sustainable Development and Mitigation".
- ISO. 2006. "14040 Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework".
- John East, Andrew. 2008. *What is a Carbon Footprint? An overview of definitions and methodologies*.
- Kalbar, P.P., Birkved, M., Karmakar, S., Nygaard, S.E., Hauschild, M. 2017. "Can carbon footprint serve as proxy of the environmental burden from urban consumption patterns?Ecol. Indic. 74, 109–118."
- Kennedy, Christopher, Julia Steinberger, Barrie Gasson, Yvonne Hansen, Timothy Hillman, Miroslav Havránek, Diane Pataki, Aumnad Phdungsilp, Anu Ramaswami e Gara Villalba Mendez. 2009. "Greenhouse Gas Emissions from Global Cities". *Environmental Science & Technology* no. 43 (19):7297-7302.
- Lombardi, Mariarosaria., Elisabetta. Laiola, Caterina. Tricase e Roberto. Rana. 2017. "Assessing the urban carbon footprint: An overview". *Environmental Impact Assessment Review* no. 66:43-52.
- Minx, J. C., T. Wiedmann, R. Wood, G. P. Peters, M. Lenzen, A. Owen, K. Scott, J. Barrett, K. Hubacek, G. Baiocchi, A. Paul, E. Dawkins, J. Briggs, D. Guan, S. Suh e F. Ackerman. 2009. "INPUT–OUTPUT ANALYSIS AND CARBON FOOTPRINTING: AN OVERVIEW OF APPLICATIONS". *Economic Systems Research* no. 21 (3):187-216.
<https://doi.org/10.1080/09535310903541298>.
- N. Larsen, Hogne e Edgar Hertwich. 2010a. *Identifying Important Characteristics of Municipal Carbon Footprints*. Vol. 70.
- . 2010b. *Implementing Carbon-Footprint-Based Calculation Tools in Municipal Greenhouse Gas Inventories: The Case of Norway*. Vol. 14.
- Pandey, D., M. Agrawal e J. S. Pandey. 2011. "Carbon footprint: current methods of estimation". *Environ Monit Assess* no. 178 (1-4):135-60.
- PORDATA. "Base de Dados de Portugal Contemporâneo".
- Ramaswami, Anu, Abel Chavez e Marian Chertow. 2012. "Carbon Footprinting of Cities and Implications for Analysis of Urban Material and Energy Flows". *Journal of Industrial Ecology* no. 16 (6):783-785.
- Ramaswami, Anu, Tim Hillman, Bruce Janson, Mark Reiner e Gregg Thomas. 2008. "A Demand-Centered, Hybrid Life-Cycle Methodology for City-Scale Greenhouse Gas Inventories". *Environmental Science & Technology* no. 42 (17):6455-6461.
- Rees, William e Mathis Wackernagel. 1996. "Urban ecological footprints: Why cities cannot be sustainable—And why they are a key to sustainability". *Environmental Impact Assessment Review* no. 16 (4):223-248.
- Turner, B. L., Eric F. Lambin e Anette Reenberg. 2007. "The emergence of land change science for global environmental change and sustainability". *Proceedings of the National Academy of Sciences* no. 104 (52):20666. <http://www.pnas.org/content/104/52/20666.abstract>.
- USEPA. 2016. "USEPA (United States Environmental Protection Agency), 2016. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2014. EPA 430-R-16-002."
- Vetóné Mózner, Zsófia. 2013. "A Consumption-Based Approach to Carbon Emission Accounting – Sectoral Differences and Environmental Benefits."
- W. Leontief, Wassily. 1936. *Quantitative Input-Output Relations in the Economic System of the United States*. Vol. 18.

- WBCSD;WRI. 2001. "The Greenhouse Gas Protocol - A Corporate Accounting and Reporting Standard."
- Wiedmann, Chen Guangwu e Barrett John. 2016. "The Concept of City Carbon Maps: A Case Study of Melbourne, Australia". *Journal of Industrial Ecology* no. 20 (4):676-691.
- Wiedmann, Thomas. e Jan. Minx. 2007. " A Definition of 'Carbon Footprint'. In: C. C. Pertsova, Ecological Economics Research Trends: Chapter 1, pp. 1-11, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA."
- WRI, ICLEI; C40 Cities Climate Leadership Group;. 2014. "Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories: An Accounting and Reporting Standard for Cities. "
- Wyckoff, Andrew W. e Joseph M. Roop. 1994. "The embodiment of carbon in imports of manufactured products: Implications for international agreements on greenhouse gas emissions". *Energy Policy* no. 22 (3):187-194.
<https://EconPapers.repec.org/RePEc:eee:enepol:v:22:y:1994:i:3:p:187-194>.

ANEXOS

Mudanças de Vetor Energético				Reduções de CO ₂ [t CO ₂ /ano]		
Estimativa de variação da energia final e das emissões de CO ₂ prevista para 2020 pela mudança da eletricidade e do GPL para gás natural				-13 200 t CO ₂ /ano		
	Energia Final [MWh/ano]		Emissões de CO ₂ [t CO ₂ /ano]			
	2004	2020	2004			2020
Eletricidade → GN	64 300	80 300	31 500			18 300
GPL → GN	9 900	9 900	2 200			2 200
TOTAL VARIAÇÃO	- 16 000		13 200			
Estimativa de redução da energia final e das emissões de CO ₂ prevista para 2020 pela criação de uma rede urbana de calor e de frio				-30 700 t CO ₂ /ano		
	Energia Final [MWh/ano]		Emissões de CO ₂ [t CO ₂ /ano]			
	2004	2020	2004			2020
RUTE	301 800	234 600	77 000			46 300
TOTAL REDUÇÃO	67 200		30 700			
Estimativa de redução da energia final e das emissões de CO ₂ prevista para 2020 por novas instalações de cogeração				-5 800 t CO ₂ /ano		
	Energia Final [MWh/ano]		Emissões de CO ₂ [t CO ₂ /ano]			
	2004	2020	2004			2020
Cogeração - Outras	108 600	84 400	27 700			21 900
TOTAL REDUÇÃO	24 200		5 800			
				Total Reduções de CO ₂ : 49 700 t CO ₂ /ano		

Mudanças pela instalação de Coletores Solares Térmicos				Reduções de CO ₂ [t CO ₂ /ano]
Estimativa da energia convencional e das emissões de CO ₂ evitadas em 2020 pela instalação de coletores solares térmicos na habitação privada (novos edifícios e grandes reabilitações)				-1 700 t CO ₂ /ano
	Área de coletores solares térmicos [m ²]	Energia Final convencional evitada [MWh/ano]	Emissões de CO ₂ evitadas [t CO ₂ /ano]	
2020				
Novos Edifícios e Grandes Reabilitações	15 400	7 700	1 700	
TOTAL REDUÇÃO		7 700	1 700	
Tabela 1- Estimativa da energia convencional e das emissões de CO ₂ evitadas em 2020 pela instalação de coletores solares térmicos na habitação social (edifícios existentes)				-3 600 t CO ₂ /ano
	Área de coletores solares térmicos [m ²]	Energia Final convencional evitada [MWh/ano]	Emissões de CO ₂ evitadas [t CO ₂ /ano]	
2020				
Solar Térmico	12 000	6 900	3 600	
TOTAL REDUÇÃO		6 900	3 600	

Mudanças pela instalação de Coletores Solares Térmicos				Reduções de CO ₂ [t CO ₂ /ano]
Tabela 2- Estimativa da energia convencional e das emissões de CO ₂ evitadas em 2020 pela instalação de coletores solares térmicos na habitação privada (edifícios existentes)				-12 100 t CO ₂ /ano
	Área de coletores solares térmicos [m ²]	Energia Final convencional evitada [MWh/ano]	Emissões de CO ₂ evitadas [t CO ₂ /ano]	
	2020			
Edifícios de Habitação Existentes	50 000	25 000	12 100	
TOTAL REDUÇÃO		25 000	12 100	
				Total Reduções de CO ₂ : 17 400 t CO ₂ /ano

Mudanças pela valorização de resíduos urbanos				Reduções de CO2 [t CO ₂ /ano]	
Tabela 3- Estimativa da energia elétrica produzida e das emissões de CO ₂ evitadas em 2020 pela valorização de resíduos urbanos					
	Energia Final Produzida [MWh/ano]		Emissões de CO ₂ [t CO ₂ /ano]		
	2004	2020	2004	2020	
Incineração	68 200	44 600	72 100	47 100	
Aterro/Biogás			1 300	-	
Reciclagem	-	-	8 600*	26 600*	
Compostagem			200*	1 900*	
TOTAL	- 23 600		46 000		
-46 000 t CO ₂ /ano					
Total Reduções de CO ₂ : 46 000 t CO ₂ /ano					

Mudanças em Edifícios							Reduções de CO ₂ [t CO ₂ /ano]
Tabela 4- Estimativa de redução da energia final e das emissões de CO ₂ em 2020 nos Edifícios Municipais (Edifícios novos ou grandes remodelações)							$-(30+3\ 300+400) = -3\ 730 \text{ t CO}_2/\text{ano}$
	Energia Final [MWh/ano]		Emissões de CO ₂ [t CO ₂ /ano]				
	2004	2020	2004	2020	Redução		
					Acção Local	Mix Elétrico ¹	
Equipamentos	-	-200	-	-30	30	-	
Reabilitação Habitação Social	15 300	9 200	7 500	1 200	3 300	3 000	
Grandes Reabilitações	1 900	1 100	900	100	400	400	
TOTAL REDUÇÃO	7 100				7 130		
Tabela 5- Estimativa de redução da energia final e das emissões de CO ₂ em 2020 na Habitação e Pequenos Edifícios de Serviços Não Municipais (Edifícios novos ou grandes reabilitações)							$-(12\ 900+300) = -13\ 200 \text{ t CO}_2/\text{ano}$
	Energia Final [MWh/ano]		Emissões de CO ₂ [t CO ₂ /ano]				
	2004	2020	2004	2020	Redução		
					Acção Local	Mix Elétrico	
Reabilitação	80 200	54 200	36 400	10 100	12 900	13 400	

Novos	-	- 1 500	-	- 300	300		
TOTAL REDUÇÃO	27 500				26 600		
Mudanças em Edifícios							Reduções de CO ₂ [t CO ₂ /ano]
Tabela 6- Estimativa de redução da energia final e das emissões de CO ₂ em 2020 nos Grandes Edifícios Não Municipais (Edifícios novos ou grandes reabilitações)							
	Energia Final [MWh/ano]		Emissões de CO ₂ [t CO ₂ /ano]				
	2004	2020	2004	2020	Redução		
					Ação Local	Mix Elétrico	
Reabilitação	89 500	60 600	35 300	10 900	14 100	10 300	
Novos	-	- 11 800	-	- 2 100	2 100	-	
TOTAL REDUÇÃO	40 700				26 500		
							-(14 100+2 100) =-16 200 t CO ₂ /ano

¹ O mix elétrico e a expressão da repartição das fontes da energia primaria que entram na produção da energia elétrica da rede nacional. É considerado o valor medio anual em função da contribuição das fontes da energia renováveis. O fator das emissões de CO₂ correspondente varia também anualmente em função da contribuição das diferentes fontes.

Tabela 7- Estimativa de redução da energia final e das emissões de CO₂ em 2020 no Edificado Municipal (Edifícios existentes)

	Energia Final [MWh/ano]		Emissões de CO ₂ [tCO ₂ /ano]			
	2004	2020	2004	2020	Redução	
					Ação Local	Mix Elétrico
Edificado Municipal (Edifícios Existentes)	12 970	9 890	3 950	1 060	1 020	1 870
TOTAL REDUÇÃO	3 080				2 890	

-1 020 t CO₂/ano

Tabela 8- Estimativa de redução da energia final e das emissões de CO₂ em 2020 nos Grandes Edifícios Não Municipais (Edifícios existentes)

	Energia Final [MWh/ano]		Emissões de CO ₂ [t CO ₂ /ano]			
	2004	2020	2004	2020	Redução	
					Ação Local	Mix Elétrico
Grandes Edifícios Não Municipais (Edifícios Existentes)	1 035 400	898 200	414 000	147 700	67 200	199 100
TOTAL REDUÇÃO	137 200				266 300	

-67 200 t CO₂/ano

Mudanças em Edifícios				Reduções de CO ₂ [t CO ₂ /ano]			
Tabela 9-- Estimativa da energia elétrica e das emissões de CO ₂ evitadas em 2020 no Smart- metering				-3000 t CO ₂ /ano			
	Energia Final Eléctrica evitada [MWh/ano]	Emissões de CO ₂ evitadas [t CO ₂ /ano]					
	2020	2020					
Smart-metering	6 200	3 000					
TOTAL REDUÇÃO	6 200	3 000					
Tabela 10-- Estimativa de redução da energia final e das emissões de CO ₂ em 2020 na substituição de frigoríficos/congeladores, máquinas de lavar louça e roupa e da iluminação				-(3 300+4 000+15 100) =22 400 t CO ₂ /ano			
	Energia Final [MWh/ano]		Emissões de CO ₂ [t CO ₂ /ano]				
	2004	2020	2004			2020	Redução
							Ação Local Mix Eléctrico

Frigorífico/ Congelador	25 300	9 200	12 400	1 200	3 300	7 900	
Máquina de Lavar Roupa e Louça	16 100	11 100	7 900	1 400	4 000	2 500	
Iluminação	45 300	14 500	22 200	1 900	15 100	5 200	
TOTAL REDUÇÃO	51 900				38 000		
							Total Reduções de CO ₂ : 126 650 tCO ₂ /ano
Mudanças nos Transportes							Reduções de CO ₂ [tCO ₂ /ano]
Tabela 11- Estimativa de redução da energia final e das emissões de CO ₂ em 2020 pelo Metro do Porto (Transportes coletivos públicos)							
	Energia Final		Emissões de CO ₂				
	2004	2020	2004	2020			
	[kWh/passageiro.ano]		[kg CO ₂ /ano/passageiro.ano]				
Metro do Porto	0,760	0,350	0,380	0,045			
	[MWh/ano]		[tCO ₂ /ano]				
TOTAL REDUÇÃO	238 700		69 900				
			Intermodalidade [tCO ₂ /ano]	Mix Elétrico [tCO ₂ /ano]			
			65 900	4 000			
							-65 900 t CO ₂ /ano
							-3 600 t CO ₂ /ano

Tabela 12- Estimativa de redução da energia final e das emissões de CO₂ em 2020 pela STCP (Transportes coletivos públicos)

	Energia Final [MWh/ano]		Emissões de CO ₂ [t CO ₂ /ano]	
	2004	2020	2004	2020
Gasóleo □ Gás Natural	63 800	63 800	17 000	14 700
Veículos + Eficientes	48 400	43 500	12 900	11 600
TOTAL REDUÇÃO	4 900		3 600	

Mudanças nos Transportes						Reduções de CO ₂ [t CO ₂ /ano]		
Tabela 13- Estimativa de redução da energia final e das emissões de CO ₂ em 2020 pela CP (Transportes coletivos públicos)								
	Energia Final [MWh/ano]		Emissões de CO ₂ [t CO ₂ /ano]					
	2004	2020	2004	2020	Redução			
					Acção Local			Mix Eléctrico
CP	5 900	5 900	2 900	800	-	2 100		
TOTAL REDUÇÃO	-				2 100			
Tabela 14- Estimativa de redução da energia final e das emissões de CO ₂ em 2020 pelos Transportes coletivos privados						-30 t CO ₂ /ano		
	Energia Final [MWh/ano]		Emissões de CO ₂ [t CO ₂ /ano]					
	2004	2020	2004	2020				
Gasóleo	1 100	1 000	290	260				
TOTAL REDUÇÃO	100		30					
Tabela 15- Estimativa de redução da energia final e das emissões de CO ₂ em 2020 pela frota municipal						-140 t CO ₂ /ano		
	Energia Final [MWh/ano]		Emissões de CO ₂ [tCO ₂ /ano]					
	2004	2020	2004	2020				

Ligeiros	1 300	1 200	340	300	
Pesados	3 100	2 700	800	700	
TOTAL REDUÇÃO	500		140		

Mudanças nos Transportes					Reduções de CO ₂ [t CO ₂ /ano]
Tabela 16- Estimativa de redução da energia final e das emissões de CO ₂ em 2020 pelos veículos ligeiros (Frota privada)					-14 500 t CO ₂ /ano
	Energia Final [MWh/ano]		Emissões de CO ₂ [t CO ₂ /ano]		
	2004	2020	2004	2020	
Veículos Ligeiros	765 300	707 100	191 300	176 800	
TOTAL REDUÇÃO	58 200		14 500		
Tabela 17- Estimativa de redução da energia final e das emissões de CO ₂ em 2020 pelos veículos de transporte de mercadorias (Frota privada)					-10 700 CO ₂ /ano
	Energia Final [MWh/ano]		Emissões de CO ₂ [t CO ₂ /ano]		
	2004	2020	2004	2020	
Transporte de Mercadorias	694 600	654 200	185 000	174 300	
TOTAL REDUÇÃO	40 400		10 700		

Mudanças nos Transportes						Reduções de CO ₂ [t CO ₂ /ano]		
Tabela 18- Estimativa de redução da energia final e das emissões de CO ₂ em 2020 pelo veículo elétrico						-2 000 t CO ₂ /ano		
	Energia Final [MWh/ano]		Emissões de CO ₂ [t CO ₂ /ano]					
	2004	2020	2004	2020	Redução			
					Ação Local			Mix Eléctrico
Veículos Eléctricos	14 100	12 400	3 600	1 600	2 000	-		
TOTAL REDUÇÃO	1 700				2 000			
Tabela 19- Estimativa da energia final e das emissões de CO ₂ evitadas em 2020 pelo uso da bicicleta						-2 150 tCO ₂ /ano		
	Energia Final Evitada [MWh/ano]		Emissões de CO ₂ Evitadas [t CO ₂ /ano]					
	2004	2020	2004	2020				
Ciclovias	8 000	-	2 150	-				
TOTAL REDUÇÃO	8 000		2 150					
Total Reduções de CO₂: 99 020 t CO₂/ano								

Outros							Reduções de CO ₂ [t CO ₂ /ano]
Tabela 20- Estimativa de redução da energia final e das emissões de CO ₂ em 2020 pela iluminação pública							$-(2\ 550 + 2\ 600) = 5\ 150\ \text{t CO}_2/\text{ano}$
	Energia Final [MWh/ano]		Emissões de CO ₂ [t CO ₂ /ano]				
	2004	2020	2004	2020	Redução		
					Ação Local	Mix Elétrico	
Regulador de Fluxo	16 800	11 700	8 200	1 500	2 550	4 150	
LEDs	8 400	3 000	4 100	550	2 600	950	
TOTAL REDUÇÃO	10 500						10 250
Tabela 21- Estimativa de redução da energia final e das emissões de CO ₂ em 2020 pelos LEDs nos semáforos							$-1\ 230\ \text{t CO}_2/\text{ano}$
	Energia Final [MWh/ano]		Emissões de CO ₂ [t CO ₂ /ano]				
	2004	2020	2004	2020	Redução		
					Ação Local	Mix Elétrico	
LED em Semáforos	2 700	200	1 320	30	1 230	60	
TOTAL REDUÇÃO	2 500				1 290		

Tabela 22- Estimativa de redução da energia final e das emissões de CO₂ em 2020 pelo projeto Porto Gravítico

	Energia Final [MWh/ano]		Emissões de CO ₂ [t CO ₂ /ano]			
	2004	2020	2004	2020	Redução	
					Ação Local	Mix Elétrico
Porto Gravítico	2 550	880	1 250	110	820	320
TOTAL REDUÇÃO	1 670				1 140	

-820 t CO₂/ano

Total Reduções de CO₂: 7 200 tCO₂/ano

Acréscimo do consumo energético previsto				Aumentos de CO ₂ [t CO ₂ /ano]			
Tabela 23- Estimativa da energia final e das emissões de CO ₂ em 2020 pelo acréscimo do consumo energético previsto				+24 740 t CO ₂ /ano			
		Aumento da energia Final				Aumento das emissões de CO ₂	
		[MWh/ano]				[t CO ₂ /ano]	
		2004	2020			2004	2020
TOTAL AUMENTO		+ 121 340		+ 24 740			
				Total Aumentos de CO ₂ : 24 740 t CO ₂ /ano			