



**Escola Superior
Agrária**

Politécnico de Coimbra

ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA
INSTITUTO POLITÉCNICO DE COIMBRA

MESTRADO EM GESTÃO AMBIENTAL

Paulo Miguel Ribeiro Machado

Contributo para a neutralidade carbónica do Município de Guimarães

Orientador: Doutora Marta Lopes

Orientador externo: Doutor Carlos Ribeiro

Versão Final

Coimbra, 2022

Paulo Miguel Ribeiro Machado

Contributo para a neutralidade carbónica do Município de Guimarães

Relatório de estágio apresentado à Escola Superior Agrária
de Coimbra para cumprimento dos requisitos necessários
à obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental

Orientador: Doutora Marta Lopes

Orientador externo: Doutor Carlos Ribeiro

Versão Final

Coimbra, 2022

Agradecimentos

Gostaria de expressar o meu agradecimento a todos, tanto pessoas como à entidade que me acolheu e que direta e indiretamente me apoiaram nesta etapa. Todo o apoio prestado revelou-se uma importante mais-valia pessoal e profissional e foi uma enorme contribuição para a realização das tarefas a que me propus.

Agradeço ao Laboratório da Paisagem e a Câmara Municipal de Guimarães pela oportunidade de estágio concedida.

Ao meu orientador, Doutor Carlos Ribeiro Diretor executivo do Laboratório da Paisagem e ao chefe do Gabinete de Eficiência Energética da CMG, Engenheiro Miguel Fernandes por todo o apoio, motivação, liberdade, bondade e dedicação demonstrada contribuindo de um extraordinário modo para o meu enriquecimento pessoal e profissional.

De similar forma quero expressar o meu agradecimento a todos do Laboratório da Paisagem e do Departamento de Obras Municipais que fizeram parte do meu percurso de estágio.

Aos meus pais, Paulo e Alice por tudo o que proporcionaram na vida com toda a dedicação e amor.

À minha namorada Rita por todo o apoio, absolutamente essencial para a conclusão deste trabalho.

Por fim, deixo o agradecimento à minha orientadora, Doutora Marta Lopes, pela disponibilidade, distinta simpatia e amabilidade no apoio prestado à realização do estágio.

Obrigado!

Resumo

O presente relatório visa apresentar o desenvolvimento das atividades realizadas no âmbito do estágio profissionalizante na sequência da obtenção do grau de Mestre do curso de Gestão Ambiental da Escola Superior Agrária de Coimbra. O referido estágio decorreu no Laboratório da Paisagem em Guimarães, uma associação para a promoção do desenvolvimento sustentável, inovação, investigação e a divulgação científica.

O objetivo do relatório é avaliar o contributo do Município de Guimarães para a neutralidade carbónica. Para tal, foram calculadas as emissões/remoções de dióxido de carbono (CO₂) relativas ao setor uso do solo, à alteração do uso do solo e às florestas (LULUCF), incorporando o setor na atual matriz de emissão de CO₂ reportada ao Pacto de Autarcas (CoM).

Com recurso a um sistema de informação geográfica (SIG) para análise e tratamento de dados georreferenciados em cartas de uso e ocupação do solo (COS) e informação constada no Inventário Nacional de Emissões (NIR), foi possível criar condições à aplicação da metodologia do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC) e assim calcular o carbono na biomassa viva das categorias uso e ocupação do solo do concelho de Guimarães.

Os resultados demonstram que no setor LULUCF o sequestro é de 120548,13 toneladas de CO₂ ano⁻¹, que florestas são o maior sumidouro de carbono no concelho e que o valor do sequestro contribui positivamente para a diminuição das emissões reduzindo em 21% as emissões reportadas no âmbito do CoM, no entanto, não é suficiente para atingir a neutralidade carbónica.

A adaptação da metodologia ao caso de estudo, conta com exclusões de componentes de armazenamento de carbono, que no futuro deverão ser preenchidas, aumentando o rigor desta análise e contributo para a melhoria do inventário de emissões do município.

Palavras-chave: Neutralidade carbónica; Sequestro; Uso e ocupação do solo; Guimarães; Alterações Climáticas

Abstract

This report aims to present the activities development carried out in the context of the professional internship following the achievement of the master's degree in Environmental Management course of Polytechnic Institute of Coimbra – Agriculture College. This internship took place at the Landscape Laboratory in Guimarães, an association for the promotion of sustainable development, innovation, research, and scientific dissemination.

The aim of the report is to evaluate the Municipality of Guimarães contribution to carbon neutrality. To this end, carbon dioxide (CO₂) emissions/removals related to the land use, land use change and forests (LULUCF) were calculated, incorporating the sector into the current CO₂ emission matrix reported to the Covenant of Mayors (CoM).

Using a geographic information system (GIS) for the analysis and treatment of georeferenced data in land use and occupation maps (COS) and information contained in the National Emissions Inventory (NIR), it was possible to create conditions for the application of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) methodology, and thus, calculate carbon in living biomass of the land use categories in the municipality of Guimarães.

The results show that in the LULUCF sector forests are the largest carbon sink in the county (120548.13 tons of CO₂ year⁻¹) and that the value of sequestration contributes positively to the reduction of emissions reducing by 21% the emissions reported under the CoM, however, it is not enough to achieve carbon neutrality.

The adaptation of the methodology to the case of study, has exclusions that in the future should be filled, increasing the accuracy of this analysis and contribution to the improvement of the emissions inventory of the municipality.

Keywords: Carbon neutrality; Sequestration; Land Use Change; Guimarães; Climate Change

Índice

Lista de figuras	vi
Lista de tabelas e quadros	vii
Lista de siglas, abreviaturas e acrónimos	ix
1. Introdução	1
1.1. Neutralidade carbónica	2
1.2. Estratégias e políticas climáticas	5
1.3. Objetivo	11
1.4. Estrutura do relatório	11
2. O inventário de emissões	13
2.1. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories	14
2.1.1. Gases com efeito de estufa	15
2.1.2. Fatores de Emissão	16
2.1.3. Níveis de complexidade metodológica – método baseado na atividade	16
2.1.4. Setores, limites e âmbitos	17
2.1.5. Série temporal	19
2.1.6. Sequestro de carbono	19
2.1.7. Setor do uso do solo, alterações de uso do solo e florestas (<i>Land Use, Land Use Change and Forestry</i> – LULUCF)	21
2.2. Utilização de sistemas de informação geográfica	23
3. Metodologia	26
3.1. Setor LULUCF	26
3.2. Reservas e fluxos de carbono	27
3.3. Método ganho-perda (<i>Gain-Loss</i>)	29
3.4. Representação de áreas	29
3.4.1. Categorias de uso e ocupação do solo	29
3.4.2. Conversão entre categorias de uso e ocupação do solo	30
3.5. Quantificação da biomassa	33
3.5.1. Fatores de expansão da biomassa	33
3.5.2. Incremento médio anual / taxas de crescimento	34
3.6. Cálculo das reservas de carbono	35
3.6.1. Floresta que permanece floresta	35
3.6.2. Solos convertidos para floresta	37
3.6.3. Outros usos e ocupação do solo	37
4. Caso de estudo	39

4.1. Projetos e iniciativas climáticas	42
4.2. Planos e estratégias	46
4.3 Inventários de consumos e emissões	48
4.3.1 Consumos	48
4.3.2. Emissões.....	50
5. Resultados e Discussão.....	53
5.1. Evolução do uso do solo (período 1995-2018).....	53
5.2. Contabilização das reservas de carbono	54
5.2.1. Áreas florestais e florestadas.....	54
5.2.2. Áreas agrícolas e áreas convertidas para agrícolas	56
5.2.3. Áreas de pastagens e matos.....	59
5.2.4. Áreas artificializadas	61
5.2.5. Áreas de descobertos.....	63
5.2.6. Áreas de zonas húmidas (água).....	63
5.3. Balanço total do setor LULUCF.....	64
5.4. A pegada carbónica do concelho de Guimarães	64
5.5. Discussão	65
6. Conclusão	68
7. Referências bibliográficas	70
Apêndice 1– Folha de Calculo IPCC - Florestas que permanecem florestas (Ganhos) .	79
Apêndice 2– Folha de cálculo IPCC - Florestas que permanecem florestas (Perdas)....	80
Apêndice 3– Folha de cálculo IPCC – Solo convertido para Floresta	81
Apêndice 4 – Folha de cálculo IPCC – Solo agrícola que permanece agrícola	82
Apêndice 5 – Folha de cálculo IPCC – Solo convertido para agrícola	83
Apêndice 6 – Folha de cálculo IPCC – Solo convertido para Pastagens e Matos.....	84
Apêndice 7 – Folha de cálculo IPCC – Solo convertido para Artificializados	85

Lista de figuras

Figura 1 - Âmbito das emissões dividido em atividades diretas e indiretas (adaptado de Sparrevik e Utstøl, 2020).....	18
Figura 2 – Esquema dos setores do inventário de emissões (adaptado de IPCC, 2006)	19
Figura 3 - As principais fontes, sumidouros e processos de emissão de GEE nos ecossistemas (IPCC, 2006c).	20
Figura 4 - Evolução das emissões de GEE em Portugal (NIR, 2021).....	22
Figura 5 - Evolução da área ardida em Portugal, 2000 – 2019 (Florestas, 2021).	22
Figura 6 – Exemplificação dos atributos de uma COS (elaboração própria)	24
Figura 7 - Representação esquemática das subcategorias a incluir e excluir no presente trabalho	26
Figura 8 – Fluxograma com as etapas da metodologia	27
Figura 9 – Representação esquemática dos fluxos de carbono (adaptado de IPCC, 2006c).....	28
Figura 10 – Processo de produção das matrizes das áreas de conversões entre categorias de uso e ocupação do solo	32
Figura 11 - Concelho de Guimarães (fonte desconhecida).....	39
Figura 12 - Classificação climática de Copem (IPMA, s.d).....	40
Figura 14 – Alojamentos Familiares no concelho de Guimarães	41
Figura 13 – Número de residentes no concelho de Guimarães	41
Figura 15 - Distribuição setorial de Guimarães.....	41
Figura 16 – Distribuição do consumo de energia final por setor de atividade.	49
Figura 17 - Distribuição do consumo de energia final por vetor de energia.	49
Figura 18 - Evolução do consumo total de energia final [GWh/ano] no Município de Guimarães (própria elaboração, 2022).	50
Figura 19 – Distribuição das emissões de GEE por setor de atividade.	51
Figura 20 – Distribuição das emissões de GEE por vetor de energia.....	51
Figura 21 - Evolução das emissões de CO ₂ [toneladas/ano].	52
Figura 22 – Carta do uso e ocupação do solo do concelho de Guimarães	53
Figura 23 – Representação esquemática da evolução do uso e ocupação do solo entre 1995 e 2018.	53
Figura 24 – Gráfico das emissões desagregadas por setores.	64

Lista de tabelas e quadros

Quadro 1– Diferenças entre abordagens para elaboração do inventário de emissões (Bertoldi, 2018)	15
Quadro 2- Levantamento bibliográfico de utilização de SIG na determinação do sequestro de carbono	25
Quadro 3 - Componentes dos Ecossistemas (IPCC, 2006c).....	28
Quadro 4 – Categorias do uso e ocupação do solo (COS, 2018).	30
Quadro 5 - Correspondência entre categorias de uso e ocupação do solo (IPCC, 2006c)	31
Quadro 6 - Resumo dos tipos de perda de biomassa viva nos tipos de solo florestal (NIR, 2021).....	37
Quadro 7 – Projetos e iniciativas relacionadas diretamente e indiretamente com ação climática.....	43
Quadro 8 – Planos e estratégias relacionadas diretamente e indiretamente com ação climática.....	46
Tabela 1 – Exemplo de uma matriz de conversão entre categorias de uso e ocupação do solo	32
Tabela 2 – Valores considerados de BEF, RTS e fração de carbono por tipo de uso do solo (adaptado de NIR, 2021).....	34
Tabela 3 – Valores dos incrementos médios anuais de espécies florestais.	34
Tabela 4- Incremento médio anual para outros usos do solo (adaptado de NIR, 2021). ..	35
Tabela 5 – Metas e objetivos declarados ao Pacto de Autarcas.	42
Tabela 6 - Matriz energética em 2018 (informação interna)	49
Tabela 7 - Emissões de dióxido de carbono em 2018, por setor de atividade e vetor (informação interna).	50
Tabela 8 – Distribuição das categorias de uso e ocupação do solo em 2018.	53
Tabela 9- Matriz da evolução do uso e ocupação do solo em hectares [ha] entre 1995 e 2018.	54
Tabela 10 – Variação da distribuição das categorias de uso e ocupação entre 1995 e 2018.	54
Tabela 11 – Matriz de representação das áreas (ha) convertidas e mantidas em florestas entre 1995 e 2018.	55

Tabela 12 - Matriz dos ganhos de carbono (C) das categorias de uso e ocupação do solo florestal.	55
Tabela 13 – Perdas de carbono (c) nas florestas devido a perdas relativas ao uso de madeira.	56
Tabela 14 - Matriz de representação das áreas (ha) convertidas e mantidas em solo agrícola.	57
Tabela 15 - Matriz dos ganhos anuais de carbono (C) das categorias de uso e ocupação agrícola (culturas perenes).....	57
Tabela 16 – Área desflorestada (ha) para conversão em categoria de solo agrícola.	58
Tabela 17 - Perdas anuais de carbono devido às áreas desflorestadas.	58
Tabela 18- Perdas anuais de carbono devido às podas de culturas perenes.	59
Tabela 19 - Matriz de representação das áreas (ha) convertidas e mantidas em pastagens e matos.....	60
Tabela 20 - Matriz dos ganhos anuais de carbono (c) das categorias de uso e ocupação pastagens e matos.	60
Tabela 21 – Área desflorestada e perda de carbono associada para a conversão em categorias pastagens e matos.	61
Tabela 22 - Perdas anuais de carbono devido à perda de culturas perenes para a categoria pastagens e matos.....	61
Tabela 23 - Matriz de representação das áreas (ha) convertidas e mantidas em artificializados.	62
Tabela 24 - Matriz de representação das áreas e perdas de carbono convertidas e mantidas em artificializados.	63
Tabela 25 – Pegada carbónica.	64

Lista de siglas, abreviaturas e acrónimos

AFOLU - Agricultura, Silvicultura e Outros Usos do Solo

AGB - Biomassa acima do solo

APA - Agência Portuguesa do Ambiente

BEF - Fator expansão da Biomassa

BGB - Biomassa abaixo do solo/radicular

CEAP - Plano de ação para a economia circular

CELE - Comércio Europeu de Licenças de Emissão

CH₄ - Metano

CO - Monóxido de Carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono

CoM - Covenant of Mayors (Pacto de Autarcas)

COP – Conferência das Nações Unidas Sobre o Clima

COS - Carta de Uso e Ocupação do Solo

COVNM_s - Compostos Orgânicos Voláteis não metânicos

CQNUAC - Convenção-Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas

DGEG - Direção-Geral de Energia e Geologia

DGT - Direção Geral do Território

ENAAC - Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas

EN-H₂ - Estratégia Nacional do Hidrogénio

FE - Fatores de Emissão

GEE – Gases com Efeito de Estufa

GWP - Potencial de Aquecimento Global

HFC_s - Hidrofluorcarbonetos

IFN - Inventário Florestal Nacional

IPCC - Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas

IPPU - Processos Industriais e Utilização do Produto

IPPU - Processos industriais e utilização do produto

LCA - Análise do ciclo de vida

LULUCF - Setor do uso do solo, alterações de uso do solo e florestas (Land Use, Land Use Change and Forestry)

N₂O – Óxido Nitroso

NF₃ - trifluoreto de azoto

NIR - Inventário Nacional de Emissões

NO_x - Óxidos de Azoto

ONU – Organização das Nações Unidas

P-3AC - Programa de Ação para a Adaptação às Alterações Climáticas

PAESC - Plano de Ação para a Energia a Sustentável e Clima

PFCs - Perfluorocarbonetos

PNEC - Plano Nacional de Energia e Clima

PRAC - Planos Regionais de Ação Climática

REN - Reserva Ecológica Nacional

RAN - Reserva Agrícola Nacional

RNC2050 - Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050

RTS - Fator de estimativa da biomassa abaixo do solo/radicular

SF₆ - Hexafluoreto de enxofre

SO₂- Dióxido de enxofre

UE – União Europeia

VGB = Volume total (*under bark*)

1. Introdução

Nos últimos 50 anos o mundo foi transformado por uma explosão do comércio global, do consumo, crescimento da população e do processo de urbanização da sociedade (Nick et al., 2022). Um exemplo desta transformação são as cidades, que formam áreas densamente povoadas e industrializadas, onde a maioria da atividade e desenvolvimento se concentra. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), atualmente as cidades consomem 78% da energia mundial e produzem mais de 60% das emissões de gases com efeito de estufa (GEE), no entanto, representam menos de 2% da superfície da Terra (United Nations [ONU], s.d).

O desenvolvimento associado a elevados padrões de consumo estimula o desperdício e favorece a utilização insustentável de recursos não renováveis (Khan et al., 2021). Até 1970 a pegada ecológica da humanidade (métrica que compara a procura de recursos contra a capacidade de regeneração biológica da Terra) era menor que a taxa de regeneração natural da terra (biocapacidade) (McLellan et al., 2014). Para assegurar o estilo de vida do século XXI, a biocapacidade da Terra é sobrecarregada em pelo menos 56%, em 2021 o dia da sobrecarga da terra foi em 29 de julho, isto significa que são utilizados tantos recursos ecológicos num ano como se vivêssemos em 1,75 Terras (Global Footprint Network, 2022; Almond, Grooten, e Peterson, 2020).

As sociedades industrializadas dependem da energia que produzem e consomem, e embora tenham sido introduzidas algumas melhorias em termos de desenvolvimento de recursos energéticos renováveis, a maior parte da energia utilizada no planeta ainda é produzida a partir de fontes não renováveis de origem fóssil como o petróleo, gás e carvão (IEA, 2020). A energia fóssil tem sido um motor fundamental do progresso tecnológico, económico, social e de desenvolvimento, mas indissociável desta realidade estão as emissões de GEE para a atmosfera, que destabilizam o seu equilíbrio e provocam alterações no clima (Ritchie, 2020).

O Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido Nitroso (N₂O), Hexafluoreto de Enxofre (SF₆), Hidrofluorcarbono (HFC), trifluoreto de azoto (NF₃) e Perfluorcarbono (PFC) são os principais GEE. São ainda incluídos os GEE indiretos, tais como: monóxido de carbono (CO), o dióxido de enxofre (SO₂), os óxidos de azoto (NO_x) e os compostos orgânicos voláteis não metânicos (COVNM) (APA, 2022a; EPA, 2022).

Note-se que a emissão de GEE para a atmosfera não se restringe às atividades antropogénicas, fenómenos naturais como as alterações da irradiação solar ou da

atividade vulcânica também são fontes de emissão (Ferreira, 2009; Xi-Liu e Qing-Xian, 2018). Porém, estima-se que as fontes de emissão naturais tenham contribuído com menos de 0,1°C para o aquecimento total registado entre 1890 e 2010, em contrapartida, o aquecimento global induzido pela atividade humana aumenta atualmente à taxa de 0,2°C por década, sendo a principal causa do aumento da temperatura global observado no século XX (Nasa, 2022a; Lindsey e Dahlman, 2020). O consenso científico sobre as alterações climáticas que aponta a atividade humana como o seu principal causador é evidente e extenso, por todo o planeta organizações científicas defendem a posição de que as alterações climáticas são causadas pela ação humana (J. Cook et al., 2016; NASA, 2022b).

1.1. Neutralidade carbónica

As mudanças induzidas no sistema climático constituem uma ameaça para a sociedade, provocam alterações ao nível dos sistemas físico-químicos e biológicos e quanto maior a taxa de alteração, mais as consequências negativas se tornam preponderantes.

O sexto relatório de avaliação do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC) de 2022 adverte que o mundo deverá atingir o nível de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais nas próximas duas décadas, e que só as reduções mais drásticas nas emissões de carbono, a partir de agora, ajudariam a prevenir uma catástrofe ambiental (IPCC, 2022). Este prevê o aumento da frequência e da intensidade de eventos meteorológicos extremos na Europa, tais como: ondas de calor (2020 foi o ano mais quente da Europa até à data) e aumento da intensidade da precipitação (+ 22% que nos últimos 50 anos). Tais eventos custam vidas e prejuízos económicos, entre 1980 e 2020 morreram na EU mais de 138 mil pessoas e as perdas financeiras nos últimos quarenta anos ultrapassaram os 487 mil milhões de euros (IPCC, 2022).

Para preservar a estabilidade climática evitando a subida da temperatura, é necessário investir em esforços de descarbonização. Com essa finalidade, as nações mundiais concordaram em manter o aumento da temperatura média global muito abaixo dos 2°C em relação aos níveis pré-industriais através da celebração do Acordo de Paris (Conselho da União Europeia [CE], 2022a). O acordo foi assinado em dezembro de 2015 por 195 países durante a 21.ª Conferência das Nações Unidas sobre o Clima (COP). Em conformidade com este compromisso, a União Europeia (UE) estabeleceu metas para a redução progressiva de GEE até 2050, definidas no pacote clima-energia 2020, no quadro

energético e climático de 2030, no Pacto Ecológico Europeu e na Estratégia a Longo Prazo para 2050. Estes objetivos estão definidos para colocar a UE no caminho da transformação para uma economia de baixo carbono, através da colaboração de cada Estado-Membro, para os quais foram fixados objetivos juridicamente vinculativos (EC, 2019).

Até 2020 as metas incluíam a redução das emissões de GEE em pelo menos 20% abaixo dos níveis de 1990, assim como, 20% do consumo de energia da UE devia ser proveniente de recursos renováveis e uma redução de 20% no consumo de energia primária (Agência Europeia do Ambiente, 2022b). As metas para 2030, já atualizadas, incluem: uma redução de 55% nas emissões de GEE comparativamente aos níveis de 1990, e uma parcela de pelo menos 32% para o consumo de energia renovável (CE, 2021). A longo prazo, a meta para 2050 tem com o objetivo a neutralidade carbónica, ou seja, tornar nulo o balanço entre as emissões e as remoções de GEE da atmosfera (CE, 2022a).

Em Portugal, em linha com a concretização do Acordo de Paris, os principais instrumentos de política e planeamento nacional no âmbito da mitigação e adaptação às alterações climáticas são: o Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030 (PNEC 2030) e a Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (ENAAC 2020). Para apoiar o compromisso da neutralidade carbónica até 2050 foi desenvolvido um Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC 2050) que está alinhado com o PNEC 2030 (APA, 2021a).

Nos compromissos climáticos assumidos, as partes comprometeram-se a cooperar na adoção de medidas apropriadas, a nível nacional, subnacional e local. O planeamento da ação climática a nível local é essencial no combate às alterações climáticas e é visto com grande importância para a realização de metas de mitigação. Portanto, para serem bem-sucedidas, as metas da UE precisam de ser incorporadas a nível local. Logo, os municípios contribuem para a mitigação das alterações climáticas através da implementação de ações em matéria de energia e clima nos seus territórios (Rivas, 2022).

O *Covenant Of Mayors* (CoM), designado em português como Pacto de Autarcas, foi o primeiro quadro europeu com o objetivo de facilitar a ação climática nos municípios de todas as dimensões. Lançado em 2008 na Europa, com a ambição de reunir os governos locais voluntariamente comprometidos em alcançar e exceder os objetivos da UE para o clima e energia. De acordo com Cerutti et al. (2013), em 2013 mais de 43% da população europeia foi abrangida pela iniciativa.

Os municípios que aderem à iniciativa são convidados a desenvolver o Plano de Ação para a Energia Sustentável e Clima (PAESC) que inclui uma avaliação do contexto geográfico, demográfico e energético. O PAESC inclui um inventário de emissões, a identificação clara do objetivo de redução de GEE e ações planejadas juntamente com prazos, responsabilidades, impactos e custos estimados (Simpla, s.d).

Para se definirem ações como medidas de compensação, controle e monitorização de emissões de GEE é necessário calcular a sua quantidade. O inventário de emissões quantifica os GEE em toneladas equivalentes de CO_2 emitidas para a atmosfera dentro de um determinado âmbito e fronteira. Os resultados de Rivas et al. (2021) mostram que o inventário é o fator que despoleta maior ambição climática nas cidades e leva ao desenvolvimento de ações de mitigação focando-se nos setores de atividade que mais emitem. De acordo com Bertoldi (2018), as ações de mitigação são principalmente alocadas nos setores dos transportes urbanos e nos edifícios/equipamentos/instalações, não obstante outros setores serem também alvo de implementação de ações, como por exemplo, os resíduos e a produção local de eletricidade.

Uma outra forma de mitigação das alterações climáticas é através do sequestro de carbono. A absorção de CO_2 é um dos serviços dos ecossistemas que permite o ajuste do balanço energético da Terra, ocorre através do processo de fotossíntese nas plantas e no armazenamento de carbono em vários compartimentos ambientais, como nos oceanos, e nos solos (Marchi et al., 2018).

Os sistemas naturais, como as florestas, em condições ideais, absorvem mais carbono do que aquele que emitem, atualmente a gestão dos ecossistemas terrestres (principalmente florestas) continua a ser a principal ferramenta para remover o CO_2 da atmosfera, e portanto, para equilibrar as emissões de GEE (EC, s.d.).

O papel do sequestro natural de carbono na mitigação das alterações climáticas é há muito reconhecido. O setor do uso do solo, alterações de uso do solo e florestas (*Land Use, Land Use Change and Forestry – LULUCF*) tem sido um dos temas mais discutidos para o sequestro de carbono desde 1997 no Protocolo de Quioto (Abbate et al., 2021). Atualmente, as emissões/remoções do setor LULUCF foram integradas por inteiro no objetivo proposto para 2030 da UE em termos de GEE, tal como referido no inventário da Convenção-Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (CQNUAC) (EC, s.d-b).

A ambição da neutralidade carbónica representa uma oportunidade para progredir na proteção e no aumento dos sumidouros naturais de carbono, limitando as alterações aos tipos de uso do solo devido à urbanização, enquanto se aumenta as infraestruturas verdes das cidades. Estima-se que a conversão verde de 35% da superfície urbana na Europa pode evitar elevadas quantidades emissões de CO_2 enquanto proporciona benefícios múltiplos para os habitantes (Quaranta et al., 2021).

Em Portugal, no ano de 2019, o total das emissões de GEE, excluindo o setor LULUCF), foi estimado em cerca de 63,6 Mt CO_2 equivalentes, no entanto, o total das emissões de GEE incluindo LULUCF foi de 55,8 Mt CO_2 equivalentes (APA, 2021b). Portanto, o setor LULUCF foi responsável pelo sequestro de 7,8 Mt CO_2 equivalentes em 2019, que corresponde aproximadamente a 12%.

De uma forma geral, de acordo com o Inventário Nacional de Emissões “*National Inventory Report*” (NIR) relativo a 2021, o setor LULUCF tem funcionado como sumidouro de carbono desde 1990 e as maiores contribuições para o sequestro de carbono devem-se às áreas florestais.

Ao nível dos municípios não foram encontrados dados do setor LULUCF, em alternativa analisou-se os resultados da pegada ecológica e da biocapacidade de seis municípios portugueses, nomeadamente: Guimarães, Almada, Bragança, Castelo Branco, Lagoa e Vila Nova de Gaia. A pegada ecológica permite determinar o impacto das atividades de consumo nos recursos naturais de uma determinada área de estudo. A área para sequestro de carbono é a que mais se destaca em todos os municípios, representando mais de 50% da componente da pegada ecológica, indicando a importância de se apostar em medidas de descarbonização (Galli et al., 2020).

A maior pressão por parte dos residentes de Guimarães é colocada na capacidade de sequestro de carbono das florestas, como indica a componente de pegada de carbono que representa quase 57% do valor total da Pegada (Galli et al., 2020). De acordo com Galli et al. (2020), a nível municipal, a categoria de uso e ocupação do solo que se destaca como o maior ativo ecológico do concelho são as florestas (70% da biocapacidade funcional) e as áreas agrícolas (26%), enquanto todas as outras categorias têm uma contribuição inferior a 1%.

1.2. Estratégias e políticas climáticas

A principal convenção internacional no âmbito climático é a CQNUAC, foi realizada em 1992 no Rio de Janeiro, apareceu como uma resposta da comunidade

internacional às evidências emergentes do clima, reconhecendo a necessidade de proteger as pessoas e o ambiente através da ação colaborativa.

Todos anos, as partes na CQNUAC reúnem-se para analisar e debater os progressos realizados no que diz respeito à convenção, aos acordos conexos e à respetiva aplicação. O objetivo final da CQNUAC é alcançar a estabilização das concentrações de GEE na atmosfera a um nível que impeça que a interferência humana impacte negativamente no sistema climático (Ordem dos engenheiros, s.d).

O Protocolo de Quioto foi adotado em 11 de dezembro de 1997 em Quioto no Japão. Devido a um complexo processo de ratificação, entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005. Atualmente, existem 192 signatários no Protocolo de Quioto. Este operacionaliza a CQNUAC e foi o primeiro tratado jurídico internacional, cujo objetivo é limitar as emissões de seis GEE (CO_2 , CH_4 , N_2O , HFCs, PFCs, SF_6) dos países desenvolvidos colocando-lhes uma maior responsabilidade, pois reconhece que são os principais responsáveis pelos elevados níveis de GEE na atmosfera. O Protocolo de Quioto estabelece metas vinculativas de redução das emissões de GEE para 37 países industrializados, economias em transição e para a União Europeia (Climate Action, s.d).

No geral, estas metas adicionaram uma redução média de 5% das emissões de GEE durante o período de cinco anos 2008-2012 em comparação com os níveis de 1990 (o primeiro período de compromisso).

Durante o segundo período de compromisso a 8 dezembro de 2012, na Emenda de Doha, os signatários comprometeram-se a reduzir as emissões de GEE em pelo menos 18% no período de 2013 a 2020, relativamente aos níveis de 1990.

Portugal assinou e ratificou o Protocolo de Quioto nos dias 29 de abril de 1998 e 31 de maio de 2002, respetivamente. No âmbito do acordo de repartição dos encargos da UE, Portugal compromete-se a limitar as suas emissões durante o primeiro período de compromisso a um máximo de +27 % em relação aos níveis de 1990.

Um elemento importante do Protocolo de Quioto foi o estabelecimento de mecanismos de mercado baseados no comércio europeu de licenças de emissão (CELE). O CELE é um mecanismo de regulação das emissões de GEE em atividades que são responsáveis por cerca de 45% das emissões na União Europeia, tais como, a queima de combustíveis, a refinação de óleos minerais, a metalurgia, a produção de cimento, cal e vidro, a cerâmica, a pasta e papel, os químicos e a aviação (APA, 2021c).

Nos termos do protocolo, os países devem cumprir os seus objetivos, principalmente através de medidas nacionais. Atualmente o Protocolo de Quioto foi substituído pelo Acordo de Paris.

No contexto do Acordo de Paris, a UE adotou o pacote estratégico: Quadro relativo ao Clima e à Energia para 2030 que estabelece objetivos para a redução das emissões de GEE, aumento da quota das energias renováveis e da eficiência energética (European Commission, 2022). As principais metas para 2030 são:

- Pelo menos 40% de redução das emissões de GEE (a partir dos níveis de 1990);
- Pelo menos 32% de quota para energias renováveis;
- Pelo menos 32,5% de melhoria na eficiência energética.

O PNEC é o principal instrumento em matéria de energia e clima em Portugal estabelecendo metas nacionais de redução de GEE para o horizonte 2030, abrangendo cinco dimensões, tais como: descarbonização, eficiência energética, segurança de abastecimento, mercado interno da energia e investigação, inovação e competitividade (APA, 2021d). As metas contempladas no PNEC são:

- Redução dos GEE em 45% a 55% em relação a 2005;
- 47% de incorporação de energias renováveis e 35% de eficiência energética.

O PNEC também estabelece metas setoriais de redução de emissões de GEE, relativamente às emissões registadas em 2005, nomeadamente:

- 70 % no setor dos serviços;
- 35 % no setor residencial;
- 40 % no setor dos transportes;
- 11 % no setor da agricultura;
- 30 % no setor dos resíduos e águas residuais.

No horizonte de 2050 do Acordo de Paris estão os compromissos em alcançar a neutralidade climática, para esse fim foi criado o Pacto Ecológico Europeu (*EU Green Deal*).

O Pacto Ecológico Europeu é a estratégia da UE para alcançar o seu objetivo climático até 2050, apresenta um roteiro para tornar a economia da UE sustentável, transformando os desafios climáticos e ambientais em oportunidades em todas as áreas políticas e tornando a transição justa e inclusiva para todos. Visa impulsionar a utilização

eficiente dos recursos, transitando para uma economia limpa e circular e projeta os investimentos necessários e os instrumentos de financiamento disponíveis (European Commission, 2019). O pacto ecológico europeu abrange todos os setores da economia, nomeadamente os transportes, a energia, a agricultura, os edifícios e indústrias. Do pacto ecológico europeu destacam-se as suas estratégias, nomeadamente:

Plano de ação para a economia circular (CEAP II): Adotado com vista a impulsionar a competitividade global, fomentando o crescimento económico sustentável e gerando novos empregos. Centra-se em setores intensivos de recursos onde o potencial de circularidade é elevado. Com o objetivo de manter os recursos nos ciclos económicos o máximo possível, o plano aborda as principais cadeias de valor do produto: eletrónica, baterias e veículos, embalagens, plásticos, têxteis e alimentos.

Proposta de Regulamento *Ecodesign* para produtos sustentáveis: aborda o design de produtos, que determina cerca de 80% do impacto ambiental ao longo do ciclo de vida de um produto. Define novos requisitos para fazer produtos duráveis, fiáveis, reutilizáveis, mais fáceis de reparar, manter, renovar e reciclar.

Do prado ao prato: Estabelece uma nova abordagem para garantir que a agricultura, as pescas, a aquicultura e a cadeia de valor alimentar contribuam adequadamente para o objetivo de neutralidade climática em 2050. Os sistemas alimentares continuam a ser um dos principais motores das alterações climáticas e da degradação ambiental. A produção, transformação, venda a retalho, embalagem e transporte de alimentos contribui de forma importante para as emissões de GEE, a poluição atmosférica do solo e da água, e têm um impacto profundo na biodiversidade.

Estratégia de biodiversidade da UE para 2030: um plano abrangente, sistémico e ambicioso a longo prazo para proteger a natureza e inverter a degradação dos ecossistemas. É um pilar fundamental do Pacto Ecológico Europeu e da liderança da UE na ação internacional para os bens públicos globais e para os objetivos de desenvolvimento sustentável. Com o objetivo de relançar a biodiversidade da Europa até 2030, a estratégia estabelece novas formas de implementar mais eficazmente a legislação existente, novos compromissos, medidas, metas e mecanismos de governação.

Plano de ação para a poluição zero: um plano para a prevenção da poluição convencional em todas as políticas relevantes da UE, para reforçar a aplicação da legislação comunitária relevante e para identificar eventuais lacunas. Inclui metas sobre

o ar, a água, o solo e a poluição sonora, bem como a produção de resíduos e a biodiversidade.

Em 2016, o governo português comprometeu-se a garantir a neutralidade carbónica até ao final de 2050, delineando uma visão clara sobre a intensa descarbonização da economia nacional.

Para atingir este objetivo, foi desenvolvido o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050), identificando os principais vetores de descarbonização em todos os setores da economia, opções políticas, medidas e a trajetória de redução de emissões para alcançar esse fim em diferentes cenários de desenvolvimento socioeconómico. Todos os setores devem contribuir para a redução das emissões, aumentar a eficiência e a inovação, promover melhorias nos edifícios, na agricultura, na gestão de resíduos e na indústria, produção de energia e transportes (República Portuguesa, 2019). As principais metas para 2050 são:

- Descarbonização do fornecimento de energia;
- Mobilidade conectada, limpa e segura;
- Economia totalmente circular;
- Melhorar cerca de 50% em eficiência energética;
- Criar interligações dentro de uma infraestrutura de rede inteligente;
- Criação de sumidouros de carbono;
- Criação de uma estratégia nacional de longo prazo para cumprir os compromissos assumidos no Acordo de Paris.

Portugal estabeleceu a Estratégia Nacional de Hidrogénio (EN-H2) tem como principal objetivo introduzir um elemento de incentivo, estabilidade e inovação para o setor energético, promovendo a introdução gradual do hidrogénio como pilar sustentável e integrando-se numa estratégia de transição mais abrangente para uma economia descarbonizada. O objetivo da estratégia é de até 2050, descarbonizar totalmente a produção de energia elétrica e a rede de gás natural, assim como, contribuir na descarbonização dos setores da indústria e transportes (DGEG, 2022).

O setor do uso do solo, alteração do uso do solo e florestas (*land use, land-use change and forestry - LULUCF*) faz parte integrante da estratégia portuguesa para enfrentar os desafios das alterações climáticas, refletidos no PNEC e no RNC2050 (APA, 2020).

O Regulamento (UE) 2018/841 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de maio de 2018, considera que o setor LULUCF tem potencial para proporcionar benefícios climáticos a longo prazo, contribuindo para alcançar o objetivo da União Europeia de redução das emissões de gases com efeito de estufa bem como as metas climáticas a longo prazo do Acordo de Paris.

A fim de garantir a contribuição do setor LULUCF para alcançar o objetivo UE de redução das emissões em, pelo menos 40%, e para a meta a longo prazo do Acordo de Paris, foram acordados vários instrumentos, incluindo o regulamento supramencionado. Este estabelece as regras de contabilização das emissões e das eliminações do setor LULUCF, assim como, a verificação do cumprimento desses compromissos por parte dos Estados-Membros sobre a contribuição do setor para o objetivo global.

A Lei de Bases do Clima (Lei n.º 98/2021), aprovada pela Assembleia da República em 31 de dezembro de 2021, define as bases da política do clima, firmando os objetivos, princípios e obrigações para os diferentes níveis de governação para a ação climática através de políticas públicas e estabelece novas disposições em termos de política climática. A lei veio assim estabelecer um conjunto de obrigações relativas à necessidade de desenvolvimento de novos instrumentos da política climática, entre os quais se destacam os Planos Regionais de Ação Climática (PRAC) e os Planos Municipais de Ação Climática.

As Orientações para os PRAC¹ recomendam que para determinação das emissões de GEE devem ser utilizadas, sempre que possível as metodologias de cálculo constantes no NIR (2021). No âmbito da mitigação às alterações climáticas, em linha com o PNEC e o RNC2030 são abordados os setores (energia, transportes, indústria, edifícios, agricultura, florestas e outros usos do solo, resíduos e águas residuais e fiscalidade, financiamento e transição justa).

Finalmente, com vista a célere redução da dependência dos combustíveis fósseis russos e à aceleração da transição verde, a Comissão da UE elaborou o plano RePowerEU (CE, 2022b). O plano visa a poupança energética, a produção de energia limpa e a diversificação do aprovisionamento energético, este baseia-se em:

- Diversificação dos fornecimentos de energia: Encontrar fontes de aprovisionamento energético alternativas, garantir opções de fornecimento de gás,

¹

https://apambiente.pt/sites/default/files/_Clima/Planeamento/220811_LBC_Orientacoes_Planos_Regionais_Accao_Climatica.pdf

petróleo e carvão rapidamente e no futuro, garantir o aprovisionamento de hidrogénio renovável.

- **Poupança:** Envolvimento do cidadão empresas e organizações na mudança de comportamentos que visem a poupança de energia. Inclui também medidas de contingência em caso de interrupções do aprovisionamento.
- **Acelerar a energia limpa:** Estimular os investimentos nas energias renováveis e reduzir as necessidades de importação de energia. Criação de condições nos setores da indústria e transportes para a substituição dos combustíveis fósseis de modo a reduzir as emissões e vínculos de dependência.

1.3. Objetivo

Este trabalho tem como objetivo aferir o contributo do Município de Guimarães (signatário do CoM desde 2013) para a neutralidade carbónica, através da análise da matriz energética, do inventário de emissões reportados ao CoM. Pretende-se exclusivamente quantificar a componente das emissões e sequestro do setor LULUCF através do estudo da evolução do uso do solo no concelho entre os anos de 1995 e 2018 com o recurso a um sistema de Informação Geográfica (SIG).

Com base nos objetivos que se pretende alcançar, colocam-se as seguintes questões:

- Qual a quantidade de carbono sequestrado e emitido pelo setor LULUCF no concelho de Guimarães?
- E qual o seu contributo para a neutralidade carbónica do Município de Guimarães?

A diferença entre as emissões reportadas ao CoM e o sequestro do setor LULUCF indicam o ponto de situação do concelho de Guimarães para a neutralidade carbónica. Espera-se dar resposta a estas questões, contribuir com conhecimento local e promover a capacidade institucional para enfrentar um desafio ambiental e em última análise despoletar novas iniciativas no âmbito da ação climática em Guimarães, ou até noutros municípios, contribuindo para os objetivos climáticos nacionais e internacionais.

1.4. Estrutura do relatório

Este trabalho está estruturado em seis capítulos. O primeiro capítulo faz uma introdução ao tema, iniciando a sua narrativa com o tema das alterações climáticas, a neutralidade carbónica, o papel da ação climática local, o sequestro de carbono e

estratégias, políticas e leis climáticas tanto a nível internacional como nacional. O segundo capítulo diz respeito à revisão da metodologia de elaboração do inventário de emissões de acordo com os critérios do IPCC e recomendações do CoM. No terceiro capítulo apresenta-se a metodologia utilizada para quantificar as emissões do setor LULUCF; no quarto capítulo descreve-se o caso de estudo, no quinto expõe-se e discutem-se os resultados. Por último, no sexto capítulo apresentam-se as principais conclusões e recomendações futuras.

2. O inventário de emissões

Os inventários de emissões quantificam os GEE, reportados em unidades de CO_2 equivalentes, num território ou instituição, para um determinado período (usualmente um ano). Consistem no primeiro passo para as administrações das cidades elaborarem uma política climática eficaz (Wright et al., 2011). As emissões estão diretamente relacionadas com o consumo de energia associado. Normalmente, a nível local, os inventários são construídos multiplicando fatores de emissão com os dados de atividade correspondentes para cada setor de atividade. É recomendado às administrações locais a utilização de fatores de emissão que estejam em consonância com o IPCC (Bertoldi, 2018). Para a realização de um inventário é necessário seguir uma metodologia normalizada. Um estudo de Marsh-Patrick (2010) para a Comissão Europeia apresenta 90 metodologias para reporte de emissões. Para o setor público estão listadas oito metodologias, nomeadamente:

- *IPCC 2006 GHG Workbook*²;
- *ISO 14064: 2006 (Parts 1 and 3)*³;
- *French Bilan Carbone*⁴;
- *EU Emissions Trading Scheme (EU ETS)*⁵ ;
- *International Local Government GHG Emissions Analysis Protocol (IEAP)*⁶;
- *Global Reporting Initiative (GRI)*⁷;
- *WBCSD/WRI GHG Protocol Scope 3 Reporting Standard*⁸;
- *US GHG Protocol Public Setor Standard*⁹.

Além das metodologias existem as iniciativas, que muitas vezes estão diretamente relacionadas com a escolha da metodologia para a elaboração do inventário de emissões. A iniciativa normalmente tem condições que definem o formato e o conteúdo do inventário e podem abranger aspetos como a divulgação pública, a definição de objetivos, medidas de redução de emissões, requisitos de garantia/verificação, benchmarking e classificações (Marsh-Patrick, 2010). Para o setor público, com cobertura Global e na UE estão listadas sete iniciativas, nomeadamente:

² <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>

³ www.iso.org/standard/38700.html

⁴ <https://ghgprotocol.org/Third-Party-Databases/Bilan-Carbone>

⁵ https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en

⁶ https://e-lib.iclei.org/wp-content/uploads/2016/03/IEAP_October2010_Color.pdf

⁷ <https://www.globalreporting.org/standards/media/1012/gri-305-emissions-2016.pdf>

⁸ <https://www.wri.org/research/greenhouse-gas-protocol-corporate-value-chain-scope-3-accounting-and-reporting-standard>

⁹ <https://ghgprotocol.org/public-sector-protocol-0>

- *Covenant of Mayors Climate Alliance*¹⁰;
- *Carbon Disclosure Project (CDP)*¹¹;
- *EU Emissions Trading Scheme (EU ETS)*¹² ;
- *Carbon Disclosure Standards Board (CDSB)*¹³;
- *International Local Government GHG Emissions Analysis Protocol (IEAP)*¹⁴;
- *Global Reporting Initiative (GRI)*¹⁵.

2.1. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

A elaboração de um inventário de emissões adaptado às questões emergentes e às necessidades específicas de uma autarquia requer recursos adequados. Para esse fim, as metodologias devem ser revistas e os dados recolhidos para permitir, dentro do que é exequível, a criação de informação credível. Para a realização do inventário de emissões podem ser utilizadas duas abordagens, nomeadamente: a baseada na atividade e análise de ciclo de vida (LCA).

A abordagem baseada na atividade é habitualmente recomendada no CoM, assumindo-se que nesta todas as emissões de GEE ocorrem devido ao consumo direto ou indireto de energia (eletricidade, derivados de petróleo, gás natural) no território. É a abordagem utilizada no relatório nacional de emissões (NIR) no quadro da CQNUAC e é compatível com a legislação vinculativa da UE em matéria de energia e clima,

A abordagem LCA, originalmente desenvolvida para cálculo da pegada ambiental de produtos, é particularmente adequada para avaliar trocas entre diferentes tipos de impactes ambientais associados com decisões políticas e de gestão específicas, uma vez que inclui as emissões de toda a cadeia de valor e não apenas da combustão final (Bertoldi, 2018).

As diferentes abordagens têm, de facto, objetivos diferentes e, conseqüentemente, apresentam diferenças (quadro 1).

¹⁰ <https://www.climatealliance.org/activities/covenant-of-mayors.html>

¹¹ <https://www.cdp.net/en>

¹² https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en

¹³ <https://www.cdsb.net/>

¹⁴ https://carbons.org/fileadmin/user_upload/carbons/Standards/IEAP_October2010_color.pdf

¹⁵ https://e-lib.iclei.org/wp-content/uploads/2016/03/IEAP_October2010_Color.pdf

Quadro 1– Diferenças entre abordagens para elaboração do inventário de emissões (Bertoldi, 2018)

Especificidade	Baseada na Atividade	LCA
É compatível com os reportes nacionais à CQNUAC	X	
É compatível com a monitorização do progresso do quadro climático e energético de 2030 e da Decisão de Partilha de Esforços da UE	X	
Todos os fatores de emissão necessários estão facilmente disponíveis	X	
É compatível com metodologias para cálculo da pegada de carbono		X
É compatível com as diretivas Ecodesign e Rotulagem Energética 2009/125/EC e 2010/30/UE		X
Reflete o impacto ambiental total também fora do local de uso e apoia ainda mais a escolha dos biocombustíveis/biomassa mais ecológicos		X
Ferramentas disponíveis para inventários locais	X	X

2.1.1. Gases com efeito de estufa

Os três principais GEE de longa duração são os mais abordados no inventário: CO_2 , CH_4 e N_2O . A inclusão do CH_4 e do N_2O depende da possibilidade de estarem previstas medidas para reduzir também estes gases, bem como da abordagem utilizada (Bertoldi, 2018). As emissões de outros GEE são normalmente convertidas em equivalentes de CO_2 utilizando os valores do potencial de aquecimento global (GWP). O GWP é uma métrica usada para quantificar e comunicar as contribuições de diferentes GEE para as alterações climáticas (Myhre et al., 2014). Por definição, o CO_2 tem um GWP de 1 (porque é o gás utilizado como referência), este permanece na atmosfera durante muito tempo (milhares de anos) (EPA, 2022). As emissões de outros GEE são convertidas para a quantidade equivalente de CO_2 multiplicando-se pelo GWP, o CH_4 tem um GWP de 28 e o N_2O de 265, segundo os valores do IPCC *5th Assessment Report*.

Se escolhida a abordagem baseada na atividade, seguindo os princípios do IPCC, e se apenas os setores de atividade relacionados com a energia forem incluídos no

inventário, basta reportar as emissões de CO_2 (Bertoldi, 2018; IPCC, 2006a). Isto deve-se à reduzida relevância de outros GEE nos setores-chave.

2.1.2. Fatores de Emissão

Os fatores de emissão (FE) são coeficientes que quantificam as emissões por unidade energia consumida. As emissões são estimadas multiplicando um fator de emissão pela quantidade da respectiva forma de energia (ex. gás natural, diesel, elétrica.). Exemplos de fatores de emissão incluem:

- Quantidade de CO_2 emitida por MWh de petróleo e derivados consumidos [$tCO_2/MWh_{combustível}$];
- Quantidade CO_2 emitida por MWh de energia elétrica consumida [$tCO_2/MWh_{Elétrico}$], estando esta dependente do mix energético do sistema eletroprodutor que varia todos os anos;
- Quantidade CO_2 emitida por MWh de Gás natural consumido [$tCO_2/MWh_{Gás Natural}$].

A equação para quantificação de emissões é:

$$Emissões = Dados de Atividade * FE$$

Os fatores de emissão considerados para cada tipo de combustível baseiam-se no seu conteúdo de carbono. Por simplicidade, os fatores de emissão indicados assumem que todo o carbono está presente na forma de CO_2 . No entanto, na realidade pequenas porções de carbono (normalmente <1%) formam compostos como monóxido de carbono (CO) que mais tarde são oxidados na atmosfera formando CO_2 (Bertoldi, 2018; IPCC, 2006a). Além disso as emissões da queima de biocombustíveis/biomassa provenientes do uso sustentável de recursos agrícolas e florestais são consideradas neutras, pelo que o seu valor é zero. O mesmo fator zero se aplica às emissões da produção de energia elétrica renovável (Bertoldi, 2018; IPCC, 2006a).

2.1.3. Níveis de complexidade metodológica – método baseado na atividade

As abordagens têm diferentes níveis de complexidade, designados nas diretrizes de IPCC como “Tiers”. Estes níveis são utilizados para categorizar os dados de atividade

e os fatores de emissão, e a sua seleção depende da quantidade e detalhe dos dados disponíveis (IPCC, 2006a; Bertoldi, 2018; Olivier e Peters, 2005).

O nível 1 “*tier1*” corresponde ao método mais básico, o nível 2 e 3 são os mais complexos. Os níveis 2 e 3 sendo métodos de nível superior, geralmente são considerados mais precisos. No nível 1 as emissões provenientes de todas as fontes de combustão podem ser estimadas com base nas quantidades de combustível, geralmente obtidas a partir de estatísticas energéticas nacionais facilmente disponíveis. Igualmente acessíveis são os fatores de emissão de nível 1 disponíveis em fontes de informação nacionais ou do próprio IPCC. A informação necessária para estimar as emissões pelo nível 1 é a quantidade de combustível usada para processos de combustão e o fator de emissão padrão.

O nível 2 “*tier2*” requer um nível intermédio de complexidade e dados específicos locais. Normalmente, a informação necessária para estimar as emissões pelo nível 2 é a quantidade de combustível usado para processos de combustão e o fator de emissão específico do país para cada gás.

O nível 3 “*tier3*” é o mais complexo e requer o tipo de dados mais específico. O nível 3 utiliza fatores de emissão que dependem de várias combinações de variáveis, tais como: o fator de emissão específico do país para cada gás; a quantidade de combustível usada para processos de combustão; a tecnologia de combustão; as condições de operação; o controlo tecnológico; a qualidade e ações de manutenção; e a idade do equipamento utilizado.

2.1.4. Setores, limites e âmbitos

Os limites da quantificação das emissões na administração local são normalmente definidos pelas fronteiras geográficas, embora possam ser definidos outros. Definidos os limites, as emissões são quantificadas dependendo do seu âmbito (figura1), tais como:

1. Emissões Diretas (“*Scope 1*”): devido à combustão dentro dos limites do território em edifícios, instalações/equipamentos e nos setores dos transportes. As emissões diretas podem ainda ser subdivididas em fontes de emissão estacionárias (ex.: edifícios e equipamentos) e móveis (ex.: transportes);
2. Emissões Indiretas (“*Scope 2*”): Relacionadas com a produção de eletricidade, que é consumida no território independentemente da localização da sua produção;
3. Emissões Diretas não relacionadas com energia (“*Scope 3*”): Ocorrem no território, por exemplo em processos industriais e uso de produtos, tratamento de

resíduos e águas residuais, e agricultura e uso do solo. A inclusão destas emissões na matriz energética é voluntária, o foco principal são as emissões relacionadas com energia, a relevância destas emissões pode ser menor em territórios pequenos e a sua determinação de elevada complexidade.

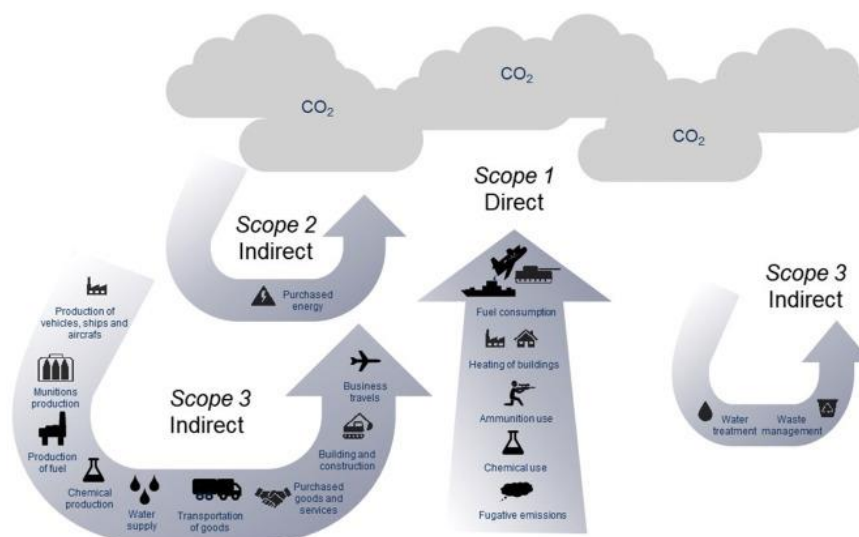


Figura 1 - Âmbito das emissões dividido em atividades diretas e indiretas (adaptado de Sparrevik e Utstøl, 2020).

Bertoldi (2018) esclarece que o inventário quantifica e decompõe as emissões por setores-chave definidos pelo CoM. É também recomendada a inclusão de outros setores de atividade para além dos setores-chave, sempre que a administração local pretenda elencar medidas com efeitos que sejam refletidos no inventário. Embora o inventário se foque no consumo final de energia, os setores de atividade não relacionados com a energia também podem ser incluídos (figura 2). Portanto, os setores que podem constar num inventário são:

- Energia (estacionária e transportes);
- Processos industriais e utilização do produto (IPPU);
- Agricultura, silvicultura e outros usos do território (AFOLU - LULUCF);
- Resíduos;
- Outras (por exemplo, emissões da deposição de azoto provenientes de fontes não agrícolas).

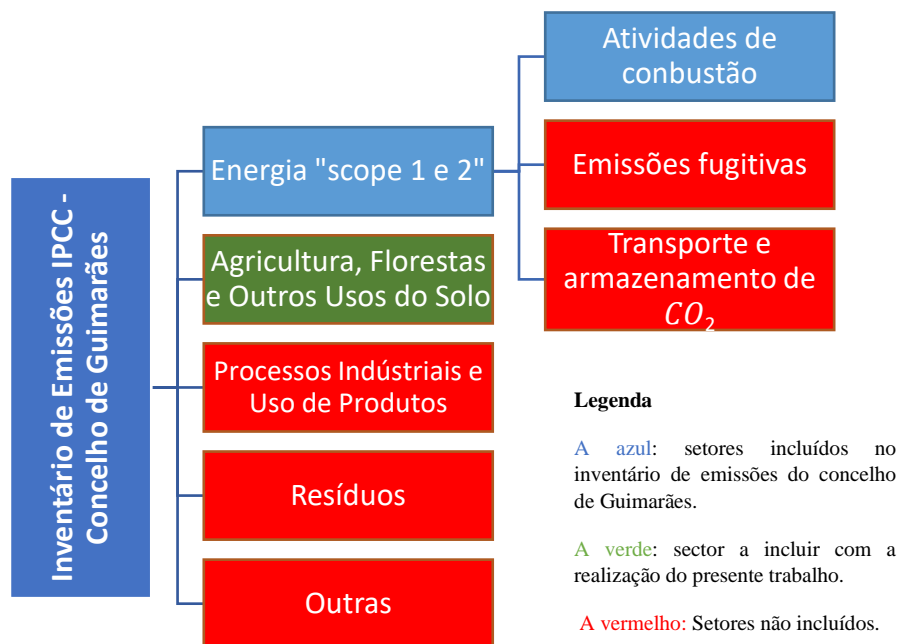


Figura 2 – Esquema dos setores do inventário de emissões (adaptado de IPCC, 2006)

2.1.5. Série temporal

Assegurar a consistência da série temporal do inventário é essencial para estabelecer a tendência das emissões (IPCC, 2006b). É necessário definir um ano onde começa a série temporal, sendo esse ano designado como ano base. A meta de redução de emissões de GEE será comparada com os resultados no ano base. Uma vez que os compromissos da UE para 2020 foram de 20% e são de, pelo menos 55%, para 2030 (renovação do Acordo de Paris) relativamente aos níveis do ano de 1990.

Em muitos casos não é possível obter dados para uma representação temporal de emissões tão extensa. Nesse caso, a instituição pode escolher o ano seguinte mais próximo para o qual existam dados suficientemente abrangentes e fiáveis. No entanto, este ano base alternativo não deve ser posterior a 2005, ano base designado no PNEC.

2.1.6. Sequestro de carbono

O sequestro de carbono é o processo de captura e armazenamento de CO_2 atmosférico. É um dos meios para reduzir a quantidade de CO_2 na atmosfera e contribuir para a redução das alterações climáticas. O sequestro e armazenamento ocorre naturalmente nas plantas, formações geológicas e no oceano. Atualmente, há um interesse considerável no potencial de sequestro de CO_2 relativo ao uso/ocupação do solo e das florestas, dada a possibilidade de se aumentar as taxas de sequestro (Lal, 2009; Selin e Eckley, 2019). O sequestro orgânico de carbono pelos ecossistemas é uma das funções

mais importantes que afeta todos os elementos do ambiente natural (Lal, 2009; Wall et al., 2012, citado em Affek, 2019). O seu potencial nos ecossistemas terrestres depende do tipo e condição do ecossistema, ou seja, da sua composição, estrutura, e no caso das florestas da distribuição etária (Lal et al., 2018).

A gestão do uso e ocupação do solo influencia os processos dos ecossistemas afetando os fluxos de GEE (figura 3), nomeadamente: fotossíntese, respiração, decomposição, nitrificação/desnitrificação, fermentação entérica e combustão. Estes processos envolvem transformações no carbono e azoto que são levadas a cabo por processos biológicos (microrganismos, plantas e animais) e físico-químicos (combustão, lixiviação e escoamento) (IPCC, 2006c). Os fluxos de CO_2 são principalmente controlados pela absorção pelas plantas através da fotossíntese e libertado pela respiração, decomposição e combustão de matéria orgânica. O N_2O é principalmente emitido nos ecossistemas como um subproduto dos processos de nitrificação e desnitrificação. O CH_4 é sobretudo emitido através da metanogénese em condições anaeróbias, nos solos, estrumes, fermentação entérica e durante a combustão incompleta da queima de matéria orgânica (IPCC, 2006c).

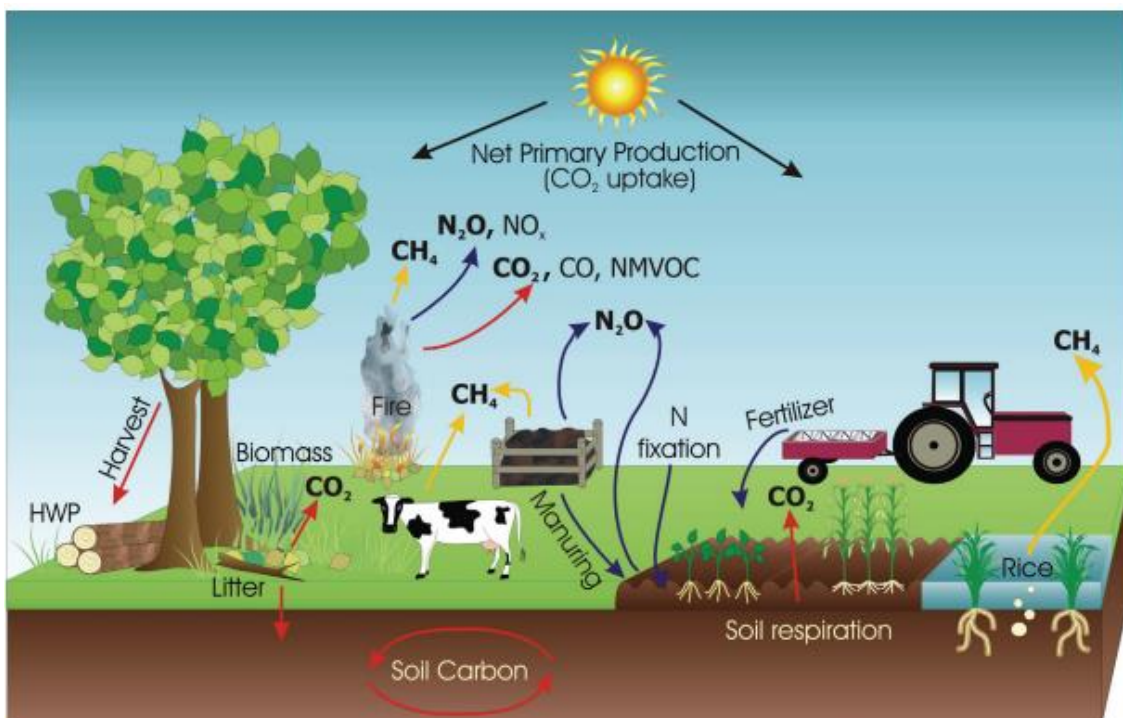


Figura 3 - As principais fontes, sumidouros e processos de emissão de GEE nos ecossistemas (IPCC, 2006c).

2.1.7. Setor do uso do solo, alterações de uso do solo e florestas (*Land Use, Land Use Change and Forestry – LULUCF*)

Sob a atual legislação europeia em vigor, aprovada em maio de 2018, os Estados-Membros da UE têm de garantir que as emissões de GEE provenientes do setor LULUCF, sejam equilibradas, pelo menos, por uma remoção equivalente de CO_2 da atmosfera no período 2021-2030. Está em consonância com o Acordo de Paris, que aponta para o papel crítico do LULUCF na consecução dos objetivos de mitigação das alterações climáticas a longo prazo.

Nas Diretrizes do IPCC 2006, LULUCF e a agricultura e pecuária fundem-se num volume de duas partes referindo-se como AFOLU (Agricultura, Silvicultura e Outros Usos do Solo). A CQNUAC adotou, a partir de 2015, as Diretrizes do IPCC, no passado, pelo que a agricultura, pecuária e o LULUCF foram abordadas separadamente. A diferença entre o LULUCF e a agricultura e pecuária deve-se ao facto de no LULUCF a remoção e armazenamento de carbono serem possíveis (bem como as emissões), enquanto, na agricultura e pecuária só existem emissões.

Comparativamente a outros setores, o LULUCF difere dos setores como a energia, processos industriais, resíduos e emissões agrícolas que são reportadas ao abrigo da CQNUAC. Estas diferenças devem-se à sua complexidade e estão subjacentes à separação do LULUCF nos inventários. Iversern et al. (2014) identifica as principais razões a que se devem essas diferenças, nomeadamente:

- Pode ser sumidouro ou uma fonte de emissões: Ao contrário de outros setores, o LULUCF inclui tanto as emissões como sequestro de CO_2 . Para muitos países desenvolvidos, as florestas são um sumidouro no balanço líquido das emissões, embora para outros constitua uma fonte líquida;
- Causas naturais: O impacto das secas, inundações, tempestades e incêndios florestais no saldo das emissões pode ser significativo, mesmo com práticas de gestão. Alguns eventos naturais extremos têm baixa previsibilidade, e a sua frequência e magnitude são variáveis, tornando a extensão da sua gestão limitada. A figura 4 representa as emissões do Relatório de Emissões Nacional submetido sob a QNUAC e Protocolo de Quioto em 2021. Os anos em que o setor LULUCF não constituiu uma fonte líquida de remoção de carbono coincidem com os anos de maior área florestal ardida no território nacional, nomeadamente, 2003, 2005 e 2017 (figura 5);

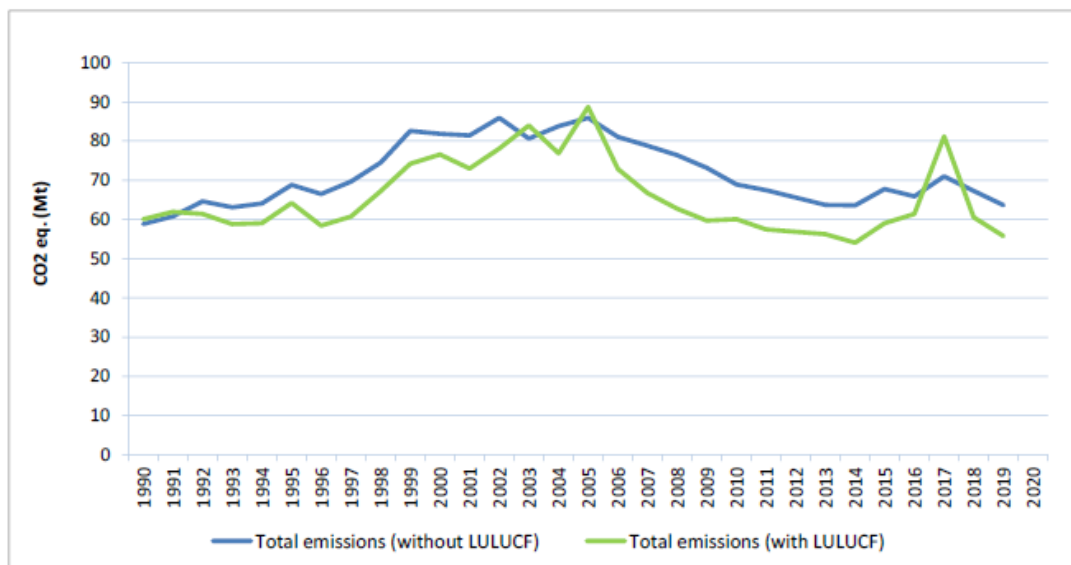


Figura 4 - Evolução das emissões de GEE em Portugal (NIR, 2021).

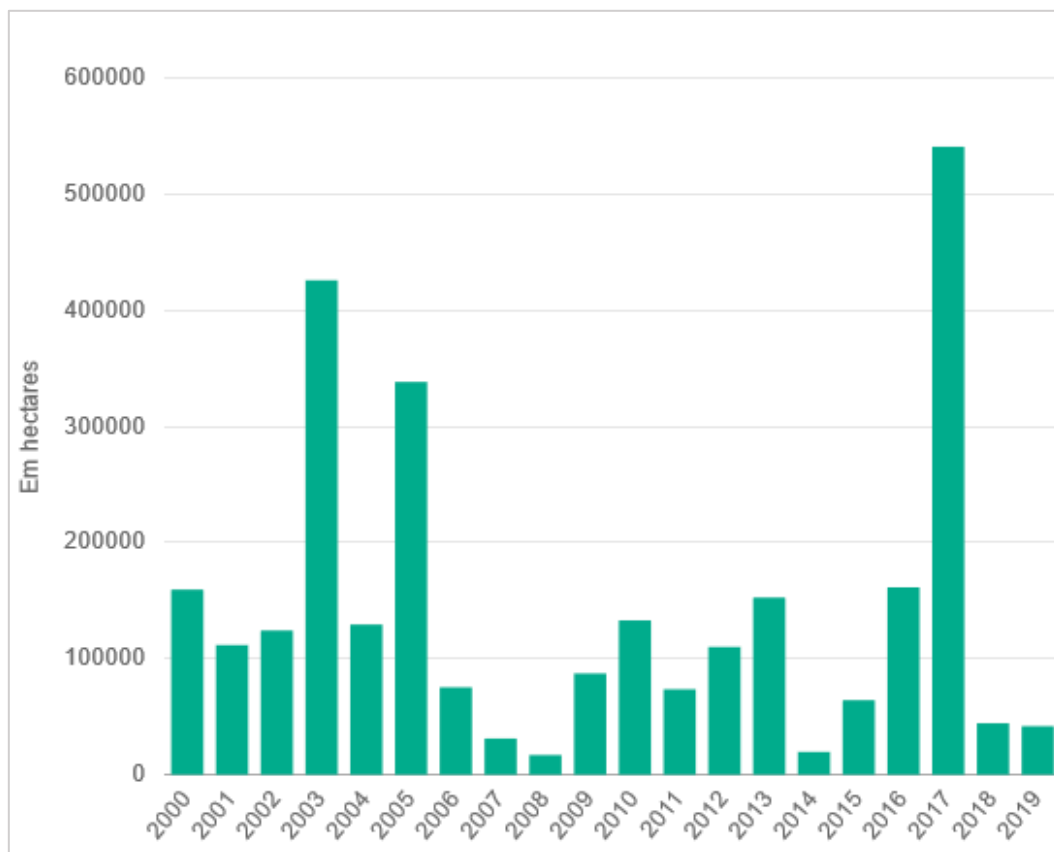


Figura 5 - Evolução da área ardida em Portugal, 2000 – 2019 (Florestas, 2021).

- Dificuldade para separar os efeitos naturais e antropogénicos: é difícil distinguir fatores causais que resultam em emissões ou remoção. Por exemplo, as emissões

provenientes de incêndios podem ter origem em causas naturais, ou causas humanas ou uma combinação de ambas;

- Efeitos do passado: Tanto as perturbações naturais como as decisões de gestão do passado, sobretudo as ações que afetam a distribuição etária das florestas (por exemplo, colheita ou reflorestação), podem ter um efeito a longo prazo nos fluxos de carbono, de décadas a centenas de anos;
- Saturação: termo utilizado para indicar que, num determinado momento, o sequestro de um tipo de uso/ocupação do solo pode cair para zero à medida que as reservas de carbono se aproximam de um estado estável onde os ganhos devido ao crescimento são equilibrados por perdas devido ao declínio;
- Distribuição: O setor LULUCF abrange grandes áreas e a sua gestão envolve várias partes interessadas, o que tem consequências tanto para a gestão como para a estimativa das emissões. As medidas para gestão das emissões tendem a tornar-se mais difíceis com mais intervenientes envolvidos, isto é particularmente verdade em países onde a posse de terras não é clara e a terra é usada por várias comunidades;
- Recalcular pode resultar em alterações significativas no reporte: Os inventários de GEE normalmente reportam emissões/remoções de um determinado período (por exemplo, 1990 até ao presente). Estas séries de tempo são uma componente central do inventário, fornecendo informações sobre as emissões e tendências históricas e são importantes para acompanhar os efeitos das medidas e ações para reduzir as emissões. No entanto, deve-se demonstrar consistência quando reportados dados em séries de tempo, assim sendo, se os dados são melhorados e/ou os métodos alterados a consistência da série temporal pode ser prejudicada. Portanto, a melhor alternativa será recalcular toda a série temporal, utilizando os novos dados e/ou metodologia;
- Incertezas: As incertezas associadas à utilização dos tipos de uso e ocupação do solo são significativamente mais elevadas do que as do setor da energia, embora outras fontes, nomeadamente a eliminação de resíduos e a agricultura, possam também ter grandes incertezas associadas.

2.2. Utilização de sistemas de informação geográfica

Um sistema de informação geográfica (SIG) permite-nos visualizar, questionar, analisar e interpretar dados para compreender relações, padrões e tendências. Com

origens na ciência da geografia os SIG integram diversos tipos de dados analisando a localização no espaço e organizando camadas de informação em visualizações através de mapas. Com estas capacidades os SIG revelam informação contida nos dados tal como padrões, relações e situações ao auxiliar os utilizadores a tomar decisões inteligentes (ESRI, 2021). Os SIG simplificam consideravelmente a atividade de ordenamento do território, sendo possível através da sua utilização realizar operações e analisar dados relativamente à dimensão espacial, permitindo a realização de avaliações complexas criando bases para tomada de decisão mais exatas e cientificamente plausíveis no decurso da avaliação do uso do solo (Strielko et al., 2014).

As bases de dados como as disponibilizadas pelo programa de cartografia de ocupação/uso do solo da Direção Geral do Território (DGT) são produzidas para caracterizar o território. Através da carta de uso e ocupação do solo (COS) é possível retirar a informação útil (figura 6) e identificar as alterações no uso e ocupação do solo em território nacional.

ID	COS2018_n1	COS2018_n4	COS2018_Lg	Area_Km2
1793	191934 2	2.2.2.1	2.2.2.1 Pomares	0,182
1794	192031 2	2.2.2.1	2.2.2.1 Pomares	0,001
1795	192041 2	2.2.2.1	2.2.2.1 Pomares	0,025
1796	192052 2	2.2.2.1	2.2.2.1 Pomares	0,018
1797	192095 2	2.2.2.1	2.2.2.1 Pomares	0,034
1798	231902 2	2.2.3.1	2.2.3.1 Olivais	0,011
1799	231530 2	2.2.3.1	2.2.3.1 Olivais	0,015
1800	233477 2	2.2.3.1	2.2.3.1 Olivais	0,013
1801	317905 2	2.3.2.1	2.3.2.1 Mosaicos culturais e parcelares complexos	0,016
1802	317909 2	2.3.2.1	2.3.2.1 Mosaicos culturais e parcelares complexos	0,011

Figura 6 – Exemplificação dos atributos de uma COS (elaboração própria)

O quadro 2 mostra a revisão de bibliografia relacionada com o tema, em que foi dada atenção a trabalhos e projetos onde a utilização de SIG foi utilizada para a caracterização dos usos e ocupação do solo, com vista a calcular o sequestro de carbono.

Quadro 2- Levantamento bibliográfico de utilização de SIG na determinação do sequestro de carbono

Descrição	Autor(s)
Utilização de técnicas de SIG e abordagens de avaliação para quantificar e mapear o sequestro de carbono do ecossistema florestal a nível local. Foram utilizados dados do uso/ocupações do solo e mencionadas as vantagens dos SIG pela sua simplicidade, baixo custo de operação e representação de padrões espaciais no tempo, ressaltando a sua aplicabilidade a uma escala regional.	(Deng, Shi, Jin, e Wang, 2011)
Estudo que quantifica o carbono acumulado na vegetação ao longo dos anos de 1985, 2000 e 2006. Foram utilizados, com recurso a um SIG, bases de dados de ocupação/uso do solo para estimar a distribuição espacial e quantidade de carbono contido em cada categoria de uso e ocupação do solo. O resultado foi obtido pela multiplicação das áreas de cada categoria pela respetiva densidade de carbono.	(Molin, 2010)
Através de própria elaboração de cartas do uso do solo com base em fotografias aéreas de 1958, 1968, 1980, 1992, classificando forma igual ao sistema COS2005, o estudo aferiu as alterações na paisagem e o sequestro de carbono na freguesia de Deilão no nordeste de Portugal. Com recurso a equações de biomassa, carbono e dados de inventário os resultados mostram que o sequestro de carbono aumentou em 27% de 1958 a 2006 a uma taxa média anual de 0.27 tC/ha/ano.	(Pinheiro, Miranda de Castro, e Azevedo, 2014)
Quantificação do sequestro de carbono na Irlanda para cada tipo de ocupação do solo, através da utilização das cartas CORINE (inventário da cobertura dos solos europeus). Ao valor da área correspondente a cada tipo de classe de vegetação foi multiplicada a respetiva densidade de carbono.	(Cruickshank, Tomlinson e S.Trew, 2000)
Estudo que quantifica o sequestro de CO ₂ pelas florestas japonesas com recurso a deteção remota. Ficou quantificado o sequestro de carbono por tipo de categoria florestal e demonstrou as vantagens da deteção remota para o efeito.	(Iizuka e Tateishi, 2015)
Estimativa dos stocks de carbono com recurso à CORINE e utilização das densidades de carbono revistas em literatura. Entre várias conclusões, o estudo identifica as florestas como os maiores e mais importantes sequestradores de carbono.	(Gemitzi, Albarakat, Kratouna, e Lakshmi, 2021)
Projeto que calcula a pegada ecológica e biocapacidade do município. A produtividade líquida primária (NPP) foi usada para calcular a produtividade média de cada tipo de solo. Os dados NPP são sobrepostos separadamente utilizando a COS 2018 para calcular a média NPP de cada categoria de uso do solo.	(Galli et al., 2020)

3. Metodologia

O principal objetivo do presente trabalho consiste na quantificação e estudo da influência do setor LULUCF na matriz de emissões do Município de Guimarães, e não propriamente no cálculo do inventário de emissões na sua totalidade. Sendo assim, a metodologia apresentar-se-á de forma resumida.

O inventário sem o setor LULUCF a ser abordado segue a metodologia baseada na atividade, seguindo os princípios do IPCC e recomendada pelo CoM (Bertoldi, 2018).

A complexidade metodológica do inventário reportado ao CoM exposto no presente trabalho é de nível 1 (“*tier 1*”) e utiliza os fatores de emissão padrão do IPCC e os dados de atividade estatísticos do consumo de energia para o concelho de Guimarães disponíveis nas estatísticas da Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG). As emissões abrangidas são as diretas “*scope 1*” e indireto “*scope 2*” (Bertoldi, 2018).

3.1. Setor LULUCF

O presente trabalho incide sobre o setor LULUCF, não abordando as emissões diretas que estão relacionadas com a agricultura/pecuária (figura 7). Ainda que integradas no setor, também foram excluídas as fontes de GEE que não o CO_2 .

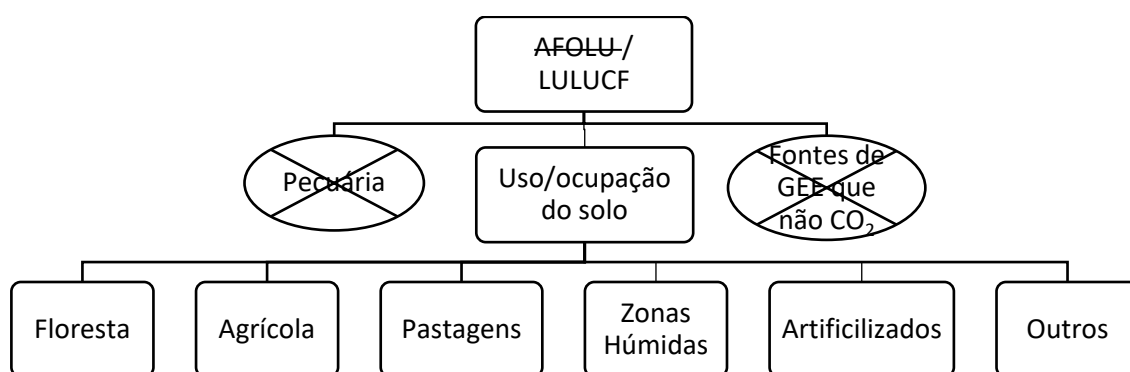


Figura 7 - Representação esquemática das subcategorias a incluir e excluir no presente trabalho

A metodologia utilizada para estimar as reservas de carbono nas categorias de uso e ocupação do solo no concelho de Guimarães resultou de uma combinação de métodos diferentes de quantificação de biomassa e carbono, tendo por base trabalhos publicados, cujos resultados descrevem, ou são aplicáveis, às categorias de uso e ocupação do solo presentes na área de estudo.

A figura 8 esquematiza a metodologia utilizada para elaboração do presente trabalho.

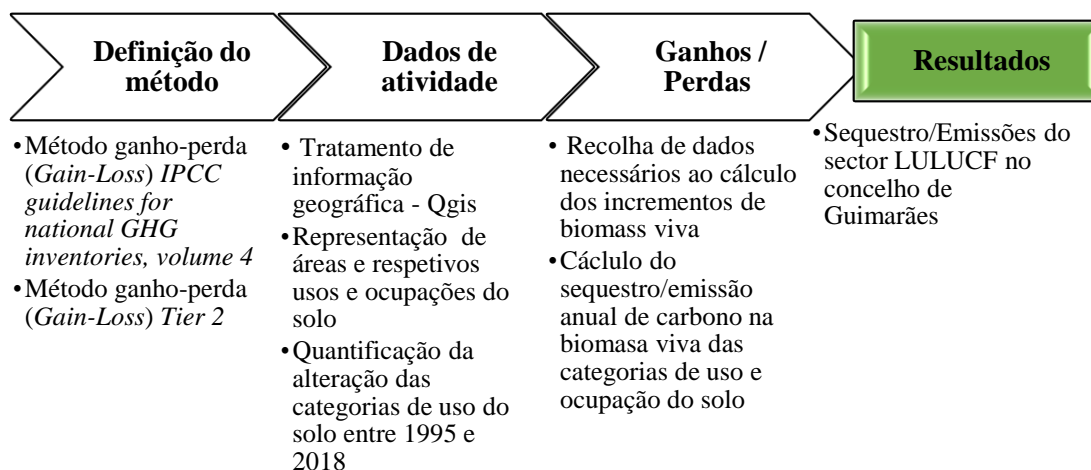


Figura 8 – Fluxograma com as etapas da metodologia

3.2. Reservas e fluxos de carbono

De acordo com as diretrizes do IPCC, a quantificação de fluxos de carbono no setor LULUCF pode ser feita de duas formas:

1. Como alterações líquidas nas reservas de carbono ao longo do tempo (mais utilizada para emissões/remoções de CO_2);
2. Diretamente como fluxos de gases, desde, e para a atmosfera (mais utilizado para estimar emissão de gases que não CO_2).

A utilização dos fluxos das reservas de carbono para estimar emissões/remoções de CO_2 , baseiam-se no facto de que as trocas de carbono no ecossistema são predominantemente (mas não exclusivamente) através de trocas entre a superfície terrestre a atmosfera. Portanto, o aumento das reservas de carbono ao longo do tempo é equiparado com as remoções líquidas de CO_2 da atmosfera, enquanto, a diminuição das reservas de carbono é equiparada a emissões líquidas.

Para descrever os processos de alteração das reservas de carbono nos ecossistemas, deve-se organizar os diferentes componentes de reserva de carbono (quadro 3) e estabelecer os fluxos entre os mesmos (figura 9).

Quadro 3 - Componentes dos Ecossistemas (IPCC, 2006c).

Reserva de Carbono		Descrição	Inclusão no cálculo (Sim/Não)
Biomassa	Biomassa acima do solo	Toda a biomassa de vegetação viva, tanto lenhosa como herbácea, acima do solo, incluindo caules, cotos, ramos, cascas, sementes e folhagem.	Sim
	Biomassa abaixo do solo	Biomassa viva das raízes.	Sim
Manta Morta	Madeira Morta	Inclui toda a biomassa lenhosa não viva e não contida nos detritos, quer em pé, deitada no chão, quer no solo. A madeira morta inclui madeira situada na superfície, raízes mortas e troncos, maiores ou iguais a 10 cm de diâmetro).	Não
	Detritos ("litter")	Inclui toda a biomassa morta em vários estados de decomposição acima ou dentro do solo mineral ou orgânico. Com um tamanho superior ao limite para matéria orgânica do solo (sugerida 2 mm) e inferior ao diâmetro mínimo escolhido para a madeira morta (10 cm).	Não
Solos	Matéria Orgânica do solo	Inclui carbono orgânico em solos minerais, raízes finas vivas e mortas e a matéria orgânica morta contida no solo.	Não

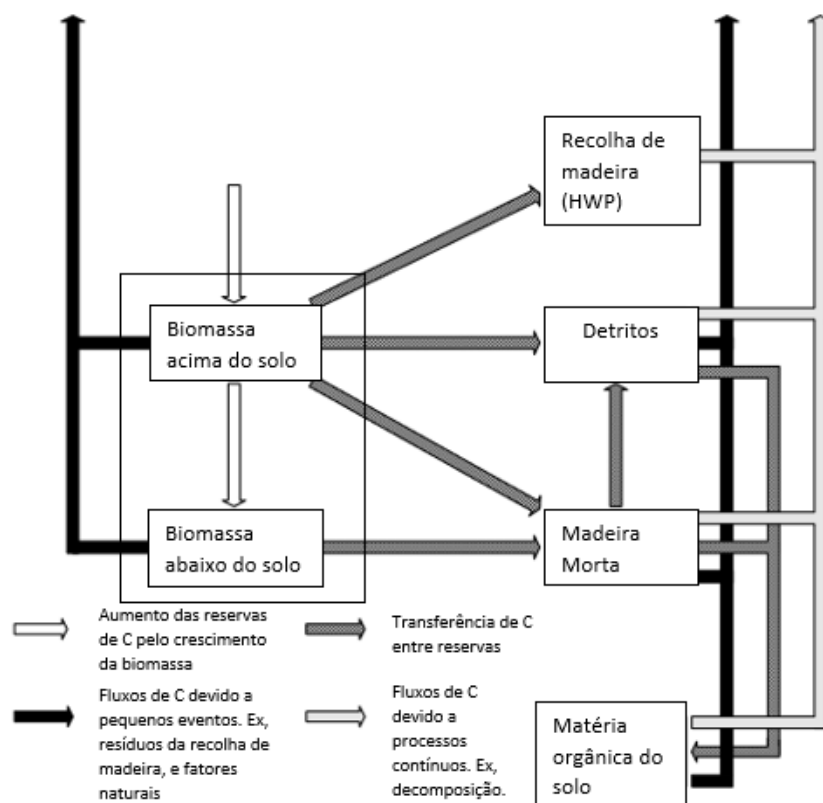


Figura 9 – Representação esquemática dos fluxos de carbono (adaptado de IPCC, 2006c).

3.3. Método ganho-perda (*Gain-Loss*)

O método Ganho-Perda (*Gain-Loss*), apresentado na metodologia do IPCC (2006c), foi o utilizado para avaliar a variação anual das reservas de carbono no âmbito do presente trabalho. Os ganhos nas reservas de carbono pela biomassa viva são subtraídos pelas perdas, os incrementos estão associados ao crescimento da biomassa viva (acima e abaixo do solo) e as perdas são atribuídas às transferências de uma componente de reserva de carbono para outra e são categorizadas de diversas formas, tais como, abates ou recolha de madeira, podas, perturbações ou desastres naturais (ex.: o carbono de um ramo podado constitui uma perda para a reserva biomassa acima do solo).

Em termos de quantificação, os ganhos (sequestro) são assinalados com o sinal positivo (+) e as perdas com sinal negativo (-). No final, quando comparado com o inventário de emissões, os sinais são invertidos. De modo a aferir o balanço anual das reservas de carbono aplica-se a equação 1:

Equação 1

$$\Delta C = \Delta G - \Delta L$$

Onde:

ΔC = Balanço anual de carbono, toneladas C *ano*⁻¹

ΔC_g = Ganhos anuais de carbono, toneladas C *ano*⁻¹

ΔC_L = Perdas anuais de carbono, toneladas C *ano*⁻¹

3.4. Representação de áreas

Nesta secção apresenta-se o método utilizado para representação de áreas. A fonte de informação geográfica utilizada para a caracterização dos usos do solo para os períodos em estudo foi a cartografia de uso e ocupação do solo de Portugal Continental para 1995 e 2018, nomeadamente a COS (2018) e a COS (1995).

3.4.1. Categorias de uso e ocupação do solo

Para cada categoria de uso e ocupação do solo, as estimativas das alterações das reservas de carbono, emissões/remoções podem envolver os cinco componentes definidos no quadro 4. As categorias propostas pelas orientações do IPCC são conciliadas neste trabalho com as especificações técnicas das cartas COS (quadro 4).

Quadro 4 – Categorias do uso e ocupação do solo (COS, 2018).

Categorias do uso e ocupação do solo COS (2018)	Descrição
Florestas	Terrenos com uso florestal, ocupados por árvores florestais, ou temporariamente desarborizados em resultado de cortes culturais ou cortes extraordinários devidos a perturbações bióticas (pragas, doenças) ou abióticas (incêndios, tempestades). As árvores originadas por regeneração natural, sementeira ou plantação, devem atingir uma altura maior ou igual a 5 metros e no seu conjunto apresentarem um grau de coberto maior ou igual a 10%.
Agricultura	Área utilizada para agricultura, constituída por culturas anuais, culturas permanentes e agricultura protegida e viveiros
Pastagens	Áreas com ou sem intervenção humana ocupadas com vegetação essencialmente do tipo herbácea, quer cultivada (semeada) quer natural (espontânea), que não estejam incluídas num sistema de rotação da exploração e que ocupem uma área superior ou igual a 25% da superfície.
Territórios artificializados	Superfície de território destinada a atividades de intervenção humana. Esta categoria inclui áreas de tecido edificado, áreas industriais, áreas comerciais, áreas dedicadas ao turismo, infraestruturas, rede rodoviária e ferroviária, áreas de serviços, jardins e equipamentos.
Zonas húmidas	Áreas interiores ou litorais, cobertas temporariamente ou permanentemente por água doce, salgada ou salobra, corrente ou estagnada, que incluem pauis, sapais, juncais, caniçais halófitos e zonas entremarés.
Outras	Esta categoria inclui solo descoberto, rocha, gelo e todas as áreas terrestres que não se enquadram em nenhuma das outras cinco categorias.

Cada categoria de uso do solo foi dividida em subcategorias (ex: florestas de pinheiro-bravo na categoria florestas). A análise dos dados desagregados relativos às subcategorias de uso e ocupação do solo permite conhecer realidades específicas, influenciadas pelas condições biofísicas, pelos recursos naturais, humanos e materiais, pela estrutura da propriedade e pelo retorno económico do aproveitamento do solo (Observatório, 2020).

3.4.2. Conversão entre categorias de uso e ocupação do solo

A conversão das categorias de uso do solo verifica-se quando, ao longo do tempo, uma determinada categoria se altera para outra (ex: florestas para artificializados) (IPCC, 2006c). Os dados devem servir para produzir informação com base em tendências históricas na alteração das categorias do solo. O período de conversão deve basear-se no tempo necessário para que as reservas de carbono no solo atinjam o equilíbrio após a

conversão da categoria de uso do solo (o período mínimo recomendado é de 20 anos) (IPCC, 2006c).

Cada categoria de uso do solo é representada por uma letra, no presente trabalho são designadas às categorias as letras iniciais correspondentes na língua em que a literatura revista está escrita (língua inglesa). A título de exemplo, a categoria representada pela letra (G) “*Grassland*”, corresponde a Pastagens. A tradução das categorias é efetuada da seguinte forma: F = Florestas; G = Pastagens; C = Agricultura; W = Zonas Húmidas; S = Artificializados; O = Outros.

Nos casos em que se verifica a conversão entre categorias de uso e ocupação do solo, colocam-se as iniciais das categorias correspondentes, por exemplo, quando a categoria agrícola (C) é convertida em florestas (F) a conversão é indicada com (CF) “*cropland converted to forestland*”. Nos casos em que a categoria permanece inalterada indica-se com a repetição da letra que identifica a categoria, por exemplo, floresta que permanece floresta (FF) “*forestland remaining forestland*”. As categorias de uso do solo aplicáveis e conversões entre as mesmas, são apresentadas quadro 5.

Quadro 5 - Correspondência entre categorias de uso e ocupação do solo (IPCC, 2006c)

FF = Floresta que permanece Floresta	LF = Convertidos para Floresta (Florestados)
GG = Pastagens que permanecem Pastagens	LG = Convertidos para Pastagens
CC = Agricultura que permanece solo Agricultura	LC = Convertidos para Agricultura
WW = Zonas húmidas que permanecem Zonas Húmidas	LW = Convertidos para Zonas Húmidas
SS = Artificializados que permanecem artificializados	LS = Convertidos para Artificializados
OO = Outros que permanecem outros	LO = Convertidos para Outros

A avaliação das alterações e ocupação do solo foram aferidas com recurso a sistema de informação geográfico, em particular o software Qgis Desktop 3.22.4® com apoio do Microsoft Excel® (Figura 10). Foi utilizada a extensão para Qgis “*Semi-Automatic Classification Plugin*” (SCP), que permite a classificação supervisionada de imagens de deteção remota, pré-processamento e pós-processamento de imagens. O resultado obtido é exposto em forma de matriz (tabela 1) através da sobreposição de Cartas COS rasterizadas e classificadas em diferentes períodos (1995 e 2018), demonstrando quais as alterações no intervalo de tempo em estudo.

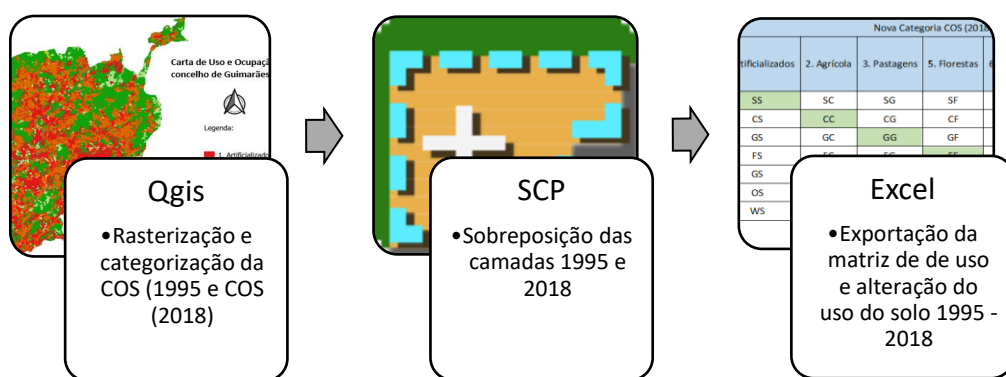


Figura 10 – Processo de produção das matrizes das áreas de conversões entre categorias de uso e ocupação do solo

Tabela 1 – Exemplo de uma matriz de conversão entre categorias de uso e ocupação do solo

Antiga Categoria COS (1995)	Nova Categoria COS (2018)						
	1. Artificializados	2. Agrícola	3. Pastagens	5. Florestas	6. Matos	7. Descobertos	9. Água
1. Artificializados	SS	SC	SG	SF	SG	SO	SW
2. Agrícola	CS	CC	CG	CF	CG	AO	CW
3. Pastagens	GS	GC	GG	GF	GG	GO	GW
5. Florestas	FS	FC	FG	FF	FG	FO	FW
6. Matos	GS	GC	GG	GF	GG	GO	GW
7. Descobertos	OS	OC	OG	OF	DG	OO	OW
9. Água	WS	WC	WG	WF	WG	WO	WW

Utilizando o princípio da tabela 1, foram elaboradas diversas matrizes para aferir as conversões entre categorias e subcategorias.

As emissões/remoções de carbono no setor LULUCF são estimadas para cada categoria de uso e ocupação do solo (incluindo alterações entre categorias) e são calculadas de acordo com a equação 2. A soma dos balanços de carbono de cada categoria afere o balanço total.

Equação 2

$$\Delta C_{LULUCF} = \Delta C_{FL} + \Delta C_{CL} + \Delta C_{GL} + \Delta C_{WL} + \Delta C_{SL} + \Delta C_{OL}$$

Onde:

ΔC_{LULUCF} = Balanço total de carbono no setor LULUCF, toneladas C ano⁻¹

Os índices indicam as categorias de uso e ocupação do solo.

3.5. Quantificação da biomassa

A biomassa vegetal, incluindo a biomassa acima do solo e abaixo do solo, é o principal canal de remoção de CO₂ da atmosfera (IPCC, 2006c). Nesta secção apresenta-se a metodologia adotada para aferir os ganhos e as perdas anuais de biomassa vegetal nas categorias de uso e ocupação de solo.

3.5.1. Fatores de expansão da biomassa

Para o presente trabalho considerou-se a metodologia utilizada no NIR (2021), devido à sua compatibilidade com as diretrizes do IPCC, mas também porque este contém dados de referência nacional, como é o caso do quinto Inventário Florestal Nacional (IFN5). O NIR (2021) destaca que as equações foram parametrizadas para as condições portuguesas, assumindo-se uma melhor representatividade das condições nacionais. Para o caso de Guimarães, quando encontrada informação bibliográfica adequada, os dados foram adaptados para maior representatividade a nível local.

Fator de expansão da biomassa (BEF) equação 3, e fator de estimativa da biomassa radicular (RTS) equação 4:

Equação 4	Equação 3
$BEF = \frac{AGB}{Vol}$	$RTS = \frac{BGB}{AGB}$

Onde:

BEF = Fator expansão da Biomassa (*Biomass expansion factor*)

RTS = Fator de estimativa da biomassa abaixo do solo/radicular (*Root-to-shoot factor*)

AGB = Biomassa acima do solo (*Above Ground Biomass*)

BGB = Biomassa abaixo do solo/radicular (*Total Below Ground Biomass*)

VGB = Total Volume (*under bark*)

Os valores do BEF utilizados (tabela 2) são valores médios derivados da biomassa específica das espécies vegetais a nível nacional e das equações de volume aplicadas à informação do IFN. Refletem, portanto, as características florestais médias das florestas portuguesas (por exemplo, composição das árvores, estrutura etária, densidade) (NIR, 2021).

A quantidade de carbono presente nas subcategorias de uso e ocupação do solo florestais é calculado com base na biomassa estimada. As frações de carbono ponderadas para cada subcategoria encontram-se na tabela 2, os valores foram retirados do NIR (2021).

Tabela 2 – Valores considerados de BEF, RTS e fração de carbono por tipo de uso do solo (adaptado de NIR, 2021).

Categoria de uso e ocupação do solo	BEF	RTS	Fração de carbono
Outros Carvalhos	0,9	0,327	48%
Eucalipto	0,630	0,249	48%
Pinheiro Bravo	0,528	0,098	51%
Sobreiro	1,239	0,133	48%
Invasoras = Outras Folhosas	0,825	0,502	48%
Outras Folhosas	0,825	0,502	48%
Outras Resinosas	0,532	0,102	51%
Pinheiro Manso	1,166	0,054	51%

3.5.2. Incremento médio anual / taxas de crescimento

Portugal apresenta elevados níveis de produtividade florestal, em grande parte devido às características do seu clima (caraterizado por temperaturas amenas, invernos com chuva e verões quentes e secos) (Florestas.pt, 2020). Como resultado de tais características, as espécies florestais como como o pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*), pinheiro-manso (*Pinus pinea*) ou o eucalipto (*Eucalyptus globulus*) apresentam um elevado potencial de produtividade florestal em Portugal Continental e, conseqüentemente, de reservar carbono nos seus componentes (Florestas.pt, 2020).

Os valores dos incrementos médios anuais ($m^3/ha.ano$) utilizados para estimar as taxas de crescimento destinam-se a representar as médias a nível nacional para cada tipo de uso e ocupação de solo florestal considerado. A tabela 3 mostra os valores considerados para o presente trabalho e as respetivas fontes.

Tabela 3 – Valores dos incrementos médios anuais de espécies florestais.

Espécie Florestal	IMA(<i>iv</i>) ($m^3/ha.ano$)	Região	Fonte
Pinheiro Bravo	8 a 13 (Média = 10,5)	Submontana Subatlântica	(Correia e Oliveira, 2003)
Sobreiro	0,6	Nacional	Florestas.pt
Eucalipto	15,8	Norte / Centro Litoral	(Correia e Oliveira, 2003)
Outros Carvalhos	2,9	Nacional	(NIR, 2021)
Outras Folhosas/Invasoras	2,1	Nacional	(NIR, 2021)
Pinheiro Manso	5,6	Nacional	(NIR, 2021)
Outras Resinosas	5	Nacional	(NIR, 2021)
Castanheiro	7,25	Nacional	(Correia e Oliveira, 2003)

Considerando as especificações técnicas da COS, tendo em conta as categorias de uso e ocupação do solo no concelho de Guimarães, os povoamentos das espécies florestais descritas são considerados dominantes, isto é, florestas em que o coberto arbóreo é constituído por uma só espécie florestal dominante. De acordo com o Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas consideraram-se povoamentos puros aqueles em que a percentagem de outras espécies não ultrapasse 25% (ICNF, 2017).

Para as outras categorias de uso e ocupação do solo, os valores dos incrementos médios anuais de carbono (tabela 4) considerados foram os que estão publicados no NIR (2021.) A metodologia para a obtenção dos valores descritos na tabela está explícita no Capítulo 6.1.1.2.2 do NIR (2021).

Tabela 4- Incremento médio anual para outros usos do solo (adaptado de NIR, 2021).

Categoria de Uso do Solo	AGB	BGB
Culturas de regadio	0,31	0,31
Culturas de sequeiro	0,31	0,31
Vinhas	0,17	0,14
Olivais	0,39	0,06
Outras culturas permanentes	0,42	0,07
Pastagens	0,53	0,94
Matos	0,44	0,25
Massas de Água	0	0
Artificializados	0	0

3.6. Cálculo das reservas de carbono

Nesta secção apresenta-se a metodologia adotada no cálculo dos ganhos anuais de biomassa viva (G_{TOTAL}), assim como o cálculo do balanço anual de carbono (ΔC_G). Recorde-se que os ganhos são correspondentes ao incremento de biomassa e consequentemente acumulação de carbono, portanto, correspondem ao sequestro. Já as perdas são assumidas como emissões de carbono.

3.6.1. Floresta que permanece floresta

O método “Ganho-Perda”, apresentado na metodologia do IPCC, foi aplicado para avaliar as alterações anuais de biomassa viva para a categoria de uso e ocupação do solo que se manteve como floresta (FF) no período em análise, calcularam-se aplicando a equação 5:

Equação 5

$$G_{TOTAL} = \sum\{iv \cdot BEF \cdot (1 + RTS)\}$$

Onde:

G_{TOTAL} = Ganhos de biomassa viva no ano de reporte, toneladas $ha^{-1}ano^{-1}$

iv = incrementos médios anuais ($m^3/ha.ano$)

RTS = Fator de estimativa da biomassa abaixo do solo/radicular (Root-to-shoot factor)

BEF = Fator de expansão da Biomassa (Biomass Expansion Factor) t/m^3

O método de cálculo exclui a vegetação que se encontra no sub-coberto (ervas, fetos, musgos, etc.). Assume-se que os ganhos e perdas deste tipo de vegetação são equivalentes (NIR, 2021).

Após o cálculo da biomassa procede-se ao cálculo da quantidade de carbono contido na mesma através da equação 6.

Equação 6

$$\Delta C_G = \sum(A \cdot G_{TOTAL} \cdot CF)$$

Onde:

ΔC_G = Valor médio anual das reservas de carbono, toneladas $C\ ano^{-1}$

A = Área, hectares (ha)

CF = Fração de carbono, tonelada de C por tonelada de biomassa

As perdas de biomassa viva têm diferentes causas e origens, incluindo a remoção de madeira, remoção de lenha e distúrbios. Quando tais perdas ocorrem, a biomassa subterrânea também é reduzida, sendo transformada em matéria orgânica morta (IPCC, 2006c). As emissões correspondentes são estimadas utilizando diferentes abordagens que variam de acordo com o tipo de perda. O quadro 6 demonstra quais as perdas associadas à categoria florestas (F), assim como indica as exclusões de cálculo do presente trabalho.

Quadro 6 - Resumo dos tipos de perda de biomassa viva nos tipos de solo florestal (NIR, 2021).

Tipo de Perda	Definição	Inclusão (Sim/Não)
Recolha e abate industrial	Consumo de madeira na indústria. Normalmente atribuídas ao eucalipto e pinheiro-bravo, uma vez que estas são as principais espécies de árvores utilizadas pela indústria (NIR, 2021).	Não
Outros usos	Uso para propósitos não declarados como o consumo doméstico e podas. Estimado em 25% do incremento médio anual (NIR, 2021).	Sim
Madeira salvada	Madeira salvada de fogos florestais.	Não
Conversão florestal	Conversão de uma categoria florestal para outra.	Não
Mortalidade natural	Mortalidade natural e desbaste natural das árvores.	Não
Uso anterior	Perda de biomassa da anterior utilização quando verificada a conversão para solo florestal.	Não
Fogos florestais	Emissões e perda de biomassa devido a fogos florestais	Não

3.6.2. Solos convertidos para floresta

As equações 3 e 4 são igualmente utilizadas para estimar os ganhos de biomassa viva e carbono, quando se verifica a conversão de outras ocupações do solo para floresta. Consideram-se as áreas que foram convertidas entre 1995 e 2018.

As perdas são quantificadas como emissões devido à perda de biomassa do uso do solo anterior em 1995.

3.6.3. Outros usos e ocupação do solo

Para as áreas pastagens que se mantêm pastagens (GG) e agrícolas que se mantêm agrícolas (CC) considera-se que os ganhos da biomassa viva são iguais às perdas, e, portanto, o seu balanço é zero (NIR, 2021). Exclui-se desta consideração as culturas perenes, nomeadamente, vinhas, olivais e pomares, que são tratadas do mesmo modo que as espécies florestais.

No caso em que a quantificação dos ganhos para os restantes usos do solo (com matéria vegetal) são calculados de acordo com os valores apresentados na tabela 4 utilizando a equação 7 para cálculo. Os valores de biomassa acima do solo (AGB) e biomassa abaixo do solo (BGB) estão publicados em unidades de $tC\ ha^{-1}\ ano^{-1}$, portanto a fração de carbono já se encontra contabilizada nos mesmos.

$$\Delta C_G = \sum\{(A \cdot AGB) + (A \cdot BGB)\}$$

Onde:

A = Área, hectares (ha)

AGB = Biomassa viva acima do solo, em quantidade anual de carbono por unidade de área, toneladas $C \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

BGB = Biomassa viva abaixo do solo, em quantidade anual de carbono por unidade de área, toneladas $C \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Para as conversões entre categorias de uso e ocupação do solo, as perdas são quantificadas como emissões devido à perda de biomassa do uso do solo anterior.

No caso dos pomares, olivais e vinhas, foram consideradas as podas, assumindo-se uma redução de 32% do incremento médio anual de biomassa (Marchi et al., 2018), tanto para as categorias que se mantêm na mesma categoria, como para conversões.

4. Caso de estudo

O Concelho de Guimarães (figura 11) fica situado no Distrito de Braga, pertence à Sub-Região do Ave (NUTS III). Limitado a norte e noroeste pelos concelhos de Póvoa de Lanhoso e Braga, a sudoeste por Santo Tirso, a sul e sudeste por Felgueiras e Vizela, a nascente pelo concelho de Fafe e a poente por Vila Nova de Famalicão. Possui uma área total de 241,05 km² (CAOP, 2017) que se distribui atualmente por 48 freguesias e uniões de freguesias resultantes da reorganização administrativa do território em 2013 das quais se destacam nove vilas: Brito, Caldas das Taipas, Lordelo, Moreira de Cónegos, Pevidém, Ponte, Ronfe, Serzedelo e São Torcato.

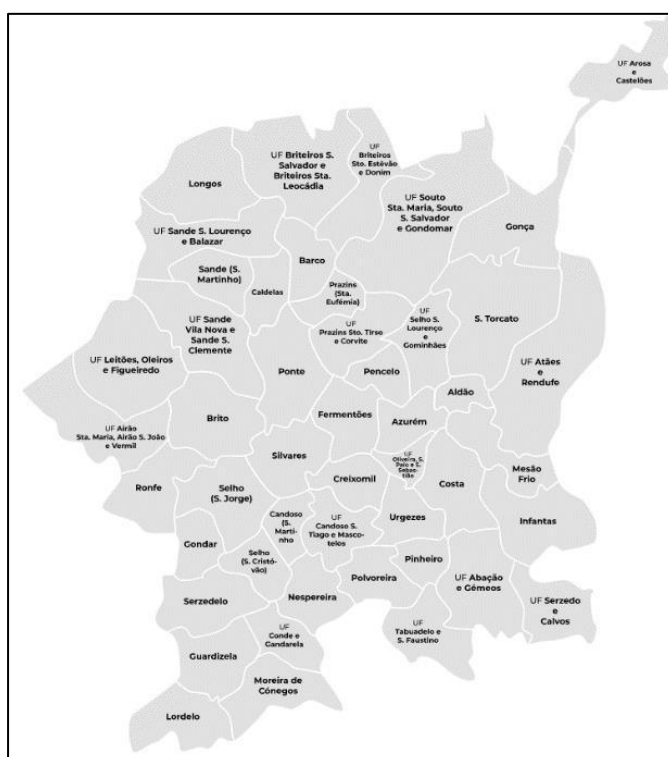


Figura 11 - Concelho de Guimarães (fonte desconhecida)

Tem um clima mediterrâneo, do tipo Csb (temperado com verão seco e suave), segundo a classificação de Köppen-Geiger (figura 12) (IPMA, s.d).

“Clima temperado com Verão seco e suave, em quase todas as regiões a Norte do sistema montanhoso Montejunto-Estrela e nas regiões do litoral oeste do Alentejo e Algarve”.

Apesar de um clima mediterrâneo do tipo temperado, Guimarães insere-se numa região com sublinhadas características atlânticas, onde o período seco é curto e os períodos de precipitação mais longos ocorrem durante a estação de inverno, embora, também se verifiquem períodos de precipitação ao longo de todo o ano (Vieira et al., 2019; Plano Diretor Municipal, 1995).

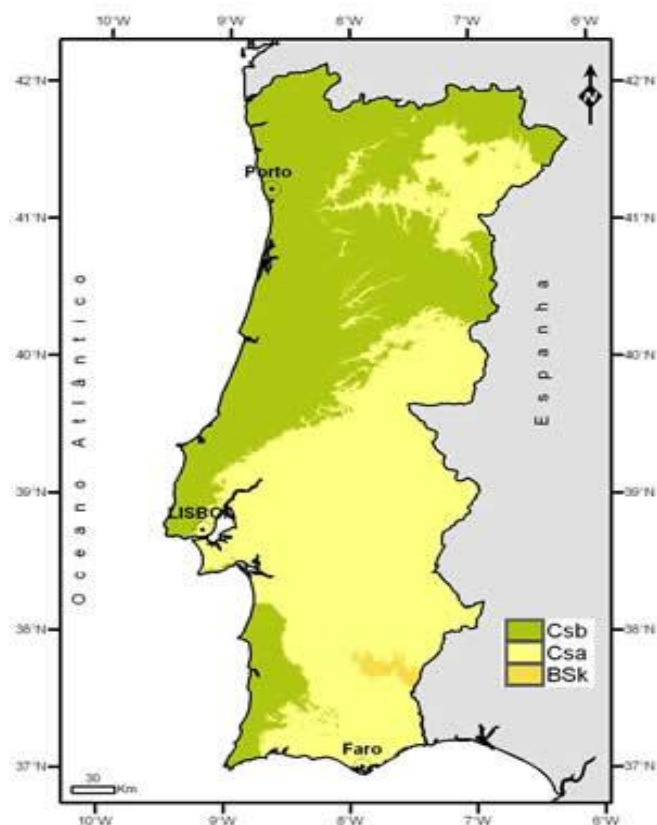


Figura 12 - Classificação climática de Copem (IPMA, s.d).

É um concelho densamente povoado, com uma população residente de 152.309 habitantes.

Entre 1991 e 2001, o concelho de Guimarães conheceu um importante crescimento demográfico (figura 13), sinalando um crescimento de 10,8% da sua população residente atingindo 143.984 habitantes.

Este crescimento demográfico manteve-se, ainda que com um desenvolvimento menos acelerado até ao ano de 2004, momento em que se registou o valor máximo ao atingir uma população residente de 160.399 habitantes.

A partir do ano de 2005 verifica-se uma inversão na tendência demográfica antes registada iniciando-se um período de regressão que se estende até à atualidade.

O número de alojamentos familiares no concelho de Guimarães tem aumentando todos os anos apesar do decréscimo populacional. A figura 14 demonstra essa subida, em 2019 registaram-se 68694 alojamentos familiares que correspondem a um aumento de aproximadamente 2,4%.

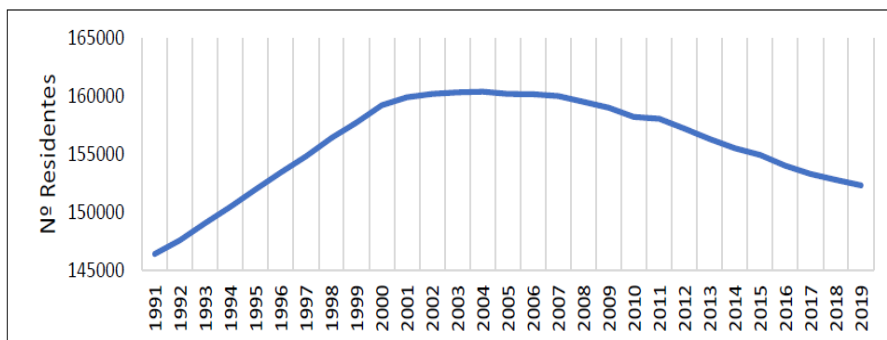


Figura 13 – Alojamentos familiares no concelho de Guimarães

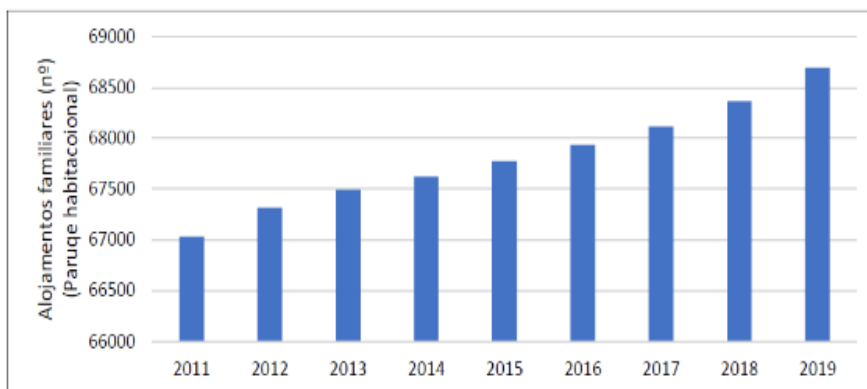


Figura 14 – Número de residentes no concelho de Guimarães

A figura 15 mostra a distribuição do número de empresas por setores no concelho de Guimarães em 2019. É de se esperar uma grande percentagem de empresas de serviços e comércio como se verifica no gráfico. A indústria destaca-se representando 20% das empresas (em que 70% representam a indústria têxtil) sediadas no concelho salientando a sua identidade industrial o que para efeitos de consumos energéticos e quantidade de emissões pode ser significativo.

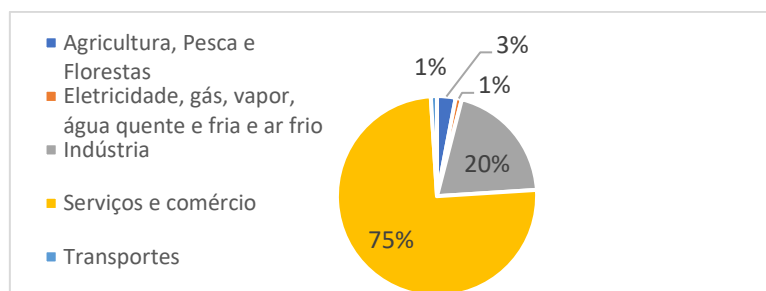


Figura 15 - Distribuição setorial de Guimarães

4.1. Projetos e iniciativas climáticas

Signatário do Pacto de Autarcas desde 2013, o Município de Guimarães teve o Plano de Ação para a Energia Sustentável (PAES) elaborado e aprovado em 2014. Passados dois anos, em 2016, submeteu o Plano de Ação para a Sustentabilidade Energética e Climática (PASEC) com os objetivos e ações para 2030, assim como, a Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas (EMAAC). Para além dos documentos, o Município comprometeu-se a apresentar, de dois em dois anos, relatórios de acompanhamento da implementação das ações apresentadas. Deste modo, os relatórios avaliam a evolução do município na direção dos objetivos propostos.

O município já vai no terceiro relatório de acompanhamento, o último referente ao ano de 2018. Dentro do âmbito do CoM o Município comprometeu-se com os objetivos de mitigação apresentados na tabela 5.

Tabela 5 – Metas e objetivos declarados ao Pacto de Autarcas.

Meta Redução CO_2	Unidade	Ano da Meta	Ano de referência
20	%	2020	2008
40	%	2030	2008
100	%	2050	2008

Recentemente, e em linha com a ambição climática do município, Guimarães viu aprovada a sua candidatura à Missão Cidades¹⁶. Trata-se de uma iniciativa, que faz parte das cinco Missões Europeias lançadas no âmbito do programa europeu de investigação e inovação Horizonte Europa, e tem como objetivo tornar 100 cidades europeias inteligentes e climaticamente neutras até 2030. A nível nacional foram selecionadas três cidades: Guimarães, Lisboa e Porto. A participação na missão traz a Guimarães o estabelecimento de uma nova meta climática que compromete o município a unir esforços para a obtenção da neutralidade climática em 2030.

Guimarães possui participação em diversos projetos e iniciativas relacionados com ação climática (quadro 7) e de sustentabilidade, nomeadamente:

¹⁶ <https://www.portugal.gov.pt/pt/gc23/comunicacao/noticia?i=lisboa-porto-e-guimaraes-na-missao-cidades>

Quadro 7 – Projetos e iniciativas relacionadas diretamente e indiretamente com ação climática

Projeto / Iniciativa	Descrição
Adapt.local ¹⁷	Rede de municípios para adaptação local às alterações climáticas, que constituem uma parceria informal envolvendo também outras instituições designadamente de ensino superior, centros de investigação, organizações não-governamentais e empresas
Declaração basca ¹⁸	A Declaração Basca traça novos caminhos para a criação de cidades produtivas, sustentáveis e resilientes para uma Europa habitável e inclusiva. O documento visa apoiar e acelerar a transformação tecnológica sociocultural e socioeconómica. A Declaração Basca foi celebrada pelos participantes da 8ª Conferência Europeia sobre Cidades Sustentáveis, realizada no País Basco de 27 a 29 de abril de 2016, e é um passo importante na sequência da Carta de Aalborg (1994) e dos Compromissos de Aalborg (2004).
ERRIN: <i>European Regions Research & Innovation Network</i> ¹⁹	A Rede Europeia de Investigação e Inovação “ <i>European Regions Research and Innovation Network (ERRIN)</i> ” é uma plataforma com sede em Bruxelas que reúne cerca de 120 organizações regionais de mais de 20 países europeus. Criada em 2001, a ERRIN apoia os membros a reforçar as suas capacidades regionais e locais de investigação e inovação e a desenvolver ainda mais os seus ecossistemas de pesquisa e inovação. A rede mantém uma relação de longa data com as instituições da UE e outras organizações para reforçar a dimensão regional e local na política e programas de investigação e inovação da EU.
Iniciativa Cidades Circulares ²⁰	O Ministério do Ambiente e da Ação Climática lança em 2019, no Laboratório da Paisagem em Guimarães, a Iniciativa Cidades Circulares que reflete a vontade e necessidade de vários organismos da administração de se estabelecer uma rede de partilha de conhecimento.
Declaração das Cidades Circulares ²¹	Os signatários da declaração comprometem-se a uma recuperação circular e a um futuro mais resiliente. As

¹⁷ <https://www.adapt-local.pt/membros/membros-efetivos>

¹⁸ <https://www.cm-guimaraes.pt/viver/noticias/noticia/guimaraes-subscribe-declaracao-basca-o-novo-roteiro-de-sustentabilidade-ambiental-para-cidades-europeias>

¹⁹ <https://errin.eu/members/municipio-de-guimaraes>

²⁰ <https://cidadescirculares.dgterritorio.gov.pt/>

²¹ <https://circularcitiesdeclaration.eu/cities/guimaraes>

	<p>idades demonstram liderança e o seu papel para dissociar o crescimento económico a partir do uso de recursos.</p> <p>Guimarães foi primeira cidade portuguesa a assinar a declaração.</p>
Projeto / Iniciativa	Descrição
Aalborg Charter ²²	<p>A carta das cidades europeias para a sustentabilidade foi aprovada pelos participantes na Conferência Europeia sobre Cidades Sustentáveis, realizada em Aalborg na Dinamarca em 1994. Ao assinar a carta, cidades europeias comprometeram-se a entrar nos processos da Agenda Local 21 e a desenvolver planos de ação a longo prazo para a sustentabilidade e iniciaram a campanha europeia das cidades sustentáveis. Guimarães é signatário por completo.</p>
The European Commission's 100 Intelligent Cities Challenge ²³	<p>Guimarães faz parte do <i>Intelligent Cities Challenge</i>, está a desenvolver uma estratégia integrada para continuar a construir-se como uma cidade inteligente e sustentável. A base desta estratégia baseia-se na utilização de tecnologias de informação e comunicação e outros meios para melhorar a qualidade de vida, a eficiência do funcionamento urbano e dos serviços e a competitividade.</p> <p>A missão de Guimarães é fomentar o desenvolvimento local, o crescimento económico e o envolvimento dos cidadãos através da implementação de soluções digitais de inovação</p>
Green City Accord ²⁴	<p>O Acordo de Cidade Verde "Green City Accord" visa melhorar a qualidade de vida de todos os europeus e acelerar a aplicação de leis ambientais relevantes da UE a nível local. Ao aderir ao Acordo, Guimarães comprometeu-se a intensificar os seus esforços em cinco áreas até 2030, ar, água, natureza e biodiversidade, economia circular, resíduos e ruído.</p>
URBACT Cities4CSR ²⁵	<p>A rede "Cities4CSR" tem como objetivo desenvolver estratégias municipais para fomentar e estimular a responsabilidade corporativa nas áreas urbanas, é uma rede para incentivar comportamentos ambientalmente responsáveis que capacitem os cidadãos a reutilizar e reciclar.</p>

²² https://sustainablecities.eu/fileadmin/repository/Aalborg_Charter/Aalborg_Charter_signatories.pdf

²³ <https://www.intelligentcitieschallenge.eu/cities/guimaraes>

²⁴ <https://www.cm-guimaraes.pt/conhecer/noticia/guimaraes-aderiu-ao-compromisso-ambiental-da-uniao-europeia-green-city-accord>

²⁵ <https://www.cm-guimaraes.pt/participar/projeto-cities4csr-urbact>

Projeto / Iniciativa	Descrição
Greentour ²⁶	<p>O Greentour é um projeto da UE (Interreg Sudoe) que visa melhorar os métodos de gestão do património natural e cultural através da implementação de redes e experimentação conjunta, incluindo metodologias e ações para promover a economia circular no setor do turismo.</p> <p>As partes interessadas estão a participar numa avaliação ambiental para compreender o seu impacte ambiental atual para que possam identificar áreas para potenciais melhorias.</p>
Limp.AR ²⁷	<p>O projeto Limp.AR pretende dar resposta à necessidade de promover a melhoria da qualidade do ar e do ruído nos centros urbanos, procurando fomentar a integração da vegetação em meio urbano e sensibilizar para a importância de reduzirmos os movimentos pendulares. O projeto integra ações de educação, capacitação e sensibilização dos cidadãos, ações participativas de cocriação, intervenções em espaço urbano e ações de avaliação da qualidade do ar e do ruído em diversos contextos.</p>
RRRCICLO ²⁸	<p>O RRRCICLO é uma iniciativa global de economia circular assumida por Guimarães, que pretende mudar os modelos lineares de produção e consumo, para modelos circulares de partilha, reutilização, reparação, reintegração e reciclagem de materiais que reduzem ao mínimo o desperdício.</p> <p>Este modelo circular tem contribuições diretas e indiretas para as metas climáticas, ajudando os cidadãos a identificar, reduzir e separar os resíduos produzidos no dia-a-dia, tornando-os mais saudáveis e economicamente sustentáveis.</p>
CApt2 ²⁹	<p>“CApt2 – Circularidade da água, por todos e para todos” é um projeto no âmbito da Iniciativa Nacional Cidades Circulares (InC2), da Direção Geral do Território na área temática do Ciclo Urbano da Água.</p> <p>O objetivo do projeto visa a melhoria da eficiência hídrica e o aumento da circularidade da água, através de uma metodologia para o desenvolvimento de um plano de ação que vá de encontro aos principais dos parceiros da rede.</p>

²⁶ <https://www.labpaisagem.pt/greentour/>

²⁷ <https://www.labpaisagem.pt/limpar/>

²⁸ <https://rrrciclo.pt/>

²⁹ <https://capt2.pt/>

European City Facility (EUCF) ³⁰	Guimarães procura criar um projeto que abranja: iluminação pública eficiente, comunidades de energia renovável e a mitigação da pobreza energética na região. A EUCF pode apoiar as seguintes atividades: Produção de energia renovável, ferramentas inovadoras de mobilidade, necessidades e constrangimentos das infraestruturas da rede de energia, análise económica do investimento proposto, iniciativas semelhantes de referência (estruturas de financiamento, modelos de negócio), análise da redução de CO ₂ , poupança de energia.
Projeto / Iniciativa	Descrição
DISTENDER ³¹	O DISTENDER pretende alcançar uma melhor compreensão das interações entre a mitigação e adaptação às alterações climáticas. O projeto deverá proporcionar progressos na integração da análise dos impactes e riscos das alterações climáticas, das vias de mitigação e das estratégias de adaptação num quadro único para ajudar a compreender e quantificar as suas inúmeras interações. O projeto deve estar finalizado em 2025.

4.2. Planos e estratégias

O Município de Guimarães já adotou diversas estratégias/planos de ação intersetoriais ou setoriais relevantes para a mitigação e adaptação às alterações climáticas/redução das emissões de GEE (quadro 8), tais como:

Quadro 8 – Planos e estratégias relacionadas diretamente e indiretamente com ação climática

Estratégia/Plano	Descrição
Plano de Ação para a Energia Sustentável (PAES) ³²	O PAES contempla medidas de sustentabilidade, direcionadas para o cumprimento das metas do CoM. Entre as medidas elencadas no PAES, está a gestão da iluminação pública, a realização de auditorias energéticas nos edifícios, serviços públicos e indústrias para avaliar o grau de eficiência energética em que se encontra e identificar o potencial de melhoria, a instalação de painéis solares que promovam a produção de energia elétrica, entre outras medidas.

³⁰ <https://www.eucityfacility.eu/calls/map-of-eucf-beneficiaries-by-country-1/3-southern-europe.html#c464>

³¹ <http://www.fi.upm.es/?id=tablon&acciongt=consulta1&idet=4716>

³² https://www.covenantofmayors.eu/about/covenant-community/signatories/action-plan.html?scity_id=17753

Plano de Ação para as Energias Sustentáveis e Clima 2030 (PAESC) ³³	Guimarães aderiu às novas metas do Pacto de Autarcas para 2030, desde 2016, submetendo o seu Plano de Ação para a Energia Sustentável e Clima.
Estratégia/Plano	Descrição
Plano de mobilidade urbana sustentável (PMUS) ³⁴	Concebido para fazer face aos problemas relacionados com os transportes nas zonas urbanas de forma mais eficaz. É um processo estruturado pelo qual são criadas visões, estabelecem-se objetivos e metas, são selecionadas políticas e medidas e a comunicação ativa, monitorização e avaliação da mobilidade no concelho.
Estratégia municipal de adaptação às alterações climáticas (EMAAC) ³⁵	A EMAAC identifica as vulnerabilidades climáticas do município com base em projeções de diferentes cenários climáticos futuros. As projeções climáticas apontam, entre outras, para um potencial decréscimo da precipitação total anual e para um o aumento das temperaturas, é também projetado um aumento da frequência de ondas de calor e de eventos de precipitação de elevada intensidade.
Plano Intermunicipal de Adaptação às Alterações Climáticas do Ave (PIAAC do Ave) ³⁶	O PIAAC do Ave, foi elaborado pela Comunidade Intermunicipal do Ave (CIM do Ave), em colaboração com todos os municípios do Ave. Constitui um estudo multidisciplinar, que caracteriza, aos níveis intermunicipal e municipal, os impactos e as oportunidades colocadas pelas alterações climáticas. São destacadas várias ações implementadas em Guimarães, tal como, as bacias de retenção, plano de ação da biodiversidade, compostagem de resíduos verdes e castanhos, recolha seletiva de resíduos e entre outros.
Plano Municipal da Defesa da Floresta Contra Incêndios (PMDFCI) ³⁷	O PMDFCI possui as ações necessárias para a defesa da floresta contra incêndios e, este inclui ações de prevenção, e a previsão e a programação integrada das intervenções para a eventual ocorrência de incêndio.
Plano de Gestão de Biorresíduos Guimarães 2030 (PGBG2030) ³⁸	Define a estratégia e as ações a desenvolver no que concerne à gestão dos biorresíduos em todo o concelho de Guimarães, em linha com as políticas nacionais e europeias em matéria de gestão de resíduos, e integrando a estratégia para o

³³ https://www.covenantofmayors.eu/about/covenant-community/signatories/action-plan.html?scity_id=17753

³⁴ https://www.cm-guimaraes.pt/cmguimaraes/uploads/writer_file/document/6845/volume_i.pdf

³⁵ https://www.cm-guimaraes.pt/cmguimaraes/uploads/writer_file/document/7277/emaac_guimaraes.pdf

³⁶ https://cim-ave.pt/wp-content/uploads/2020/10/PIAAC_CIM_do_Ave.pdf

³⁷ <https://www.cm-guimaraes.pt/municipio/camara-municipal/servicos/ambiente/gabinete-florestal/pmdfci>

³⁸ https://rrrciclo.pt/wp-content/uploads/2021/07/plano_de_gestao_de_biorresiduos_guimaraes_2030.pdf

	desenvolvimento sustentável. O PGBG2030 contempla a implementação de uma rede de recolha seletiva de Biorresíduos e promove a compostagem doméstica ou comunitária.
Estratégia/Plano	Descrição
Plano de ação para o desenvolvimento sustentável 2020-2021 ³⁹	O Plano de Ação 2020-2021 foi executado por grupos multidisciplinares de trabalho, que tratam 19 temas relacionados com Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), e têm como princípio a partilha o conhecimento: Governança, Liderança, Educação, Partilha e Envolvimento; Adaptação e Mitigação das Alterações Climáticas; Natureza, Biodiversidade, Paisagem, Recursos Hídricos e Turismo Sustentável; Resíduos, Recursos e Inovação; Qualidade do Ar e Qualidade do Ambiente Acústico; Mobilidade Sustentável; Desempenho Energético; Sistemas de Monitorização; Gestão da Água e Conselho Consultivo.

4.3 Inventários de consumos e emissões

O inventário de emissões⁴⁰ relativo a 2018 para o Município de Guimarães quantifica o CO_2 emitido no município resultante do consumo de energia num ano. Para a sua elaboração foi necessário identificar todos os consumos de energia final no município, por setor e vetor energético.

4.3.1 Consumos

Na tabela 6 são apresentados os valores do consumo de energia final no Município de Guimarães, por setor e por vetor de energia para o ano de 2018, englobando a energia consumida para produção de energia. Verifica-se assim um consumo total de 3 173 GWh/ano, correspondendo a um consumo de energia de 20,8 MWh per *capita*.

A indústria foi a atividade com maior consumo de energia (41%), como apresentado na figura 16. A eletricidade foi o vetor energético mais utilizado representando 31% do fornecimento, figura 17.

³⁹ https://www.cm-guimaraes.pt/cmguimaraes/uploads/writer_file/document/8163/planoacao2021.pdf

⁴⁰ Na última análise aos dados reportados ao CoM, assim como aos Planos de Ação pendentes à iniciativa (PAES e PAESC), foi possível identificar uma elevada discrepância nos consumos e emissões associadas, constando-se que houve um erro no reporte nos últimos anos. De modo, a compreender e identificar as incongruências nos valores anteriormente publicados, o município procedeu à análise sumária dos dados publicados pela (DGEG). Da análise verificou-se que até ao ano de 2018 os dados não foram reportados conformemente. Com base nesta verificação o município adotou os novos valores calculados, sendo esses os valores que estarão expostos no presente trabalho. Atualmente, está em curso a elaboração de um novo Plano de Ação Climática do município tendo em conta todos os ajustes técnicos necessários.

Tabela 6 - Matriz energética em 2018 (informação interna)

Consumo de energia final 2018 (MWh)											
Setor	Eletricidade	Combustíveis fósseis						Renovável		Total	Distribuição %
		Gás natural	GPL	Gasóleo aquecimento	Gasóleo	Gasolina	Outros	Biomassa	Solar Térmico		
Edifícios e equipamentos Municipais	3 944	1 423	1 980	98	-	-	-	33	-	7 477	0%
Iluminação Pública	13 892	-	-	-	-	-	-	-	-	13 892	1%
Serviços	169 166	26 971	16 101	4 576	-	-	20 745	-	4 848	242 407	10%
Edifícios Residenciais	196 543	52 468	43 215	7 053	-	-	-	132 035	8 802	440 115	17%
Indústria	402 134	533 183	6 018	1 633	21 928	-	76 258	-	-	1 041 154	41%
Transportes	612	98	9 698	-	628 431	134 955	2 543	-	-	776 337	31%
Agricultura, floresta e pesca	3 045	130	-	-	6 437	-	12	-	-	9 624	0%
Total	789 336	614 273	77 012	13 360	656 796	134 955	99 558	132 068	13 650	2 531 006	100%

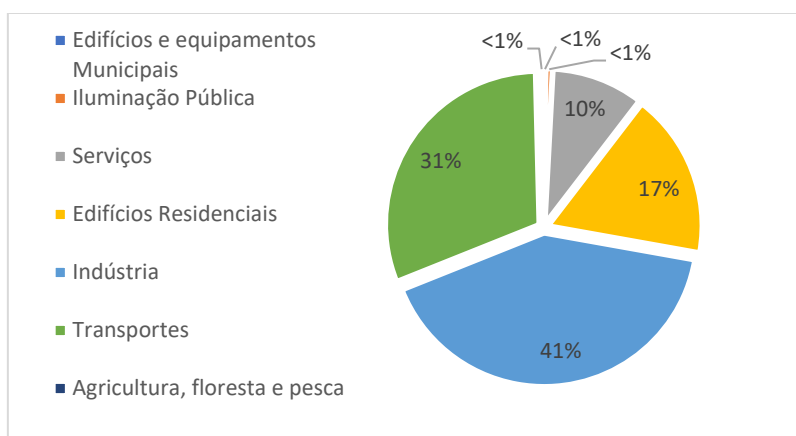


Figura 16 – Distribuição do consumo de energia final por setor de atividade.

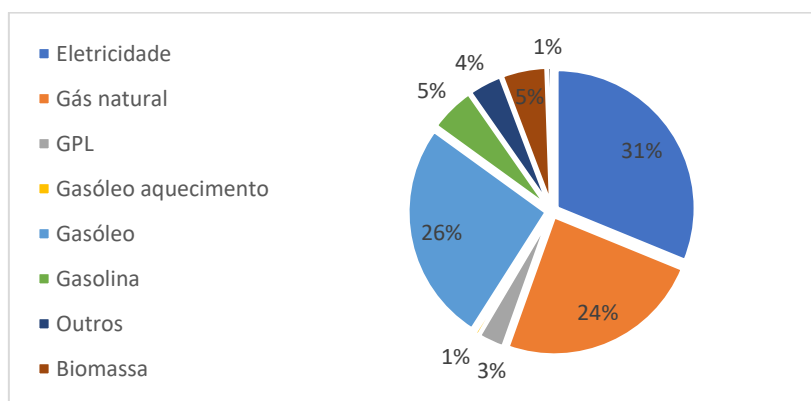


Figura 17 - Distribuição do consumo de energia final por vetor de energia.

Através desta evolução (figura 18) constata-se um aumento do consumo total de energia de 9,1% em 2018 relativamente a 2016 e de 2,2% em relação a 2008. O ano de menor consumo corresponde a 2014 verificando-se uma redução de 12,7% em relação a 2008.

Verifica-se um declínio contínuo no consumo de energia no concelho desde 2008, com uma expressão significativa no período 2009-2014, facto que pode também ser explicado pela recessão económica interna, juntamente com a crise económica e financeira europeia. Nestes anos registou-se um abrandamento da atividade industrial e a cessação de algumas atividades em Portugal (NIR, 2021).

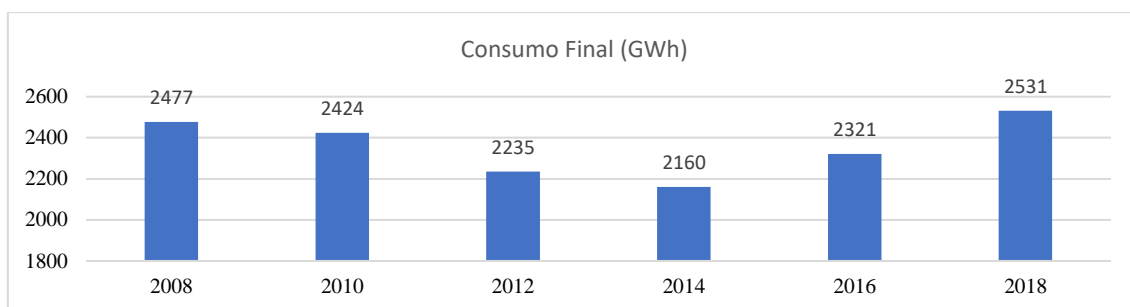


Figura 18 - Evolução do consumo total de energia final [GWh/ano] no Município de Guimarães (própria elaboração, 2022).

4.3.2. Emissões

As emissões de CO_2 resultantes do consumo de energia, em 2018 no Município de Guimarães, apresentadas na tabela 7 por setor de atividade e por vetor, mostram que emissão total de dióxido de carbono em 2018, fixou-se nas 570251⁴¹ toneladas de CO_2 ano⁻¹, representando uma emissão *per capita* de 3,7 t CO_2 /hab.

Tabela 7 - Emissões de dióxido de carbono em 2018, por setor de atividade e vetor (informação interna).

Setor	Eletricidade	Combustíveis fósseis [Toneladas CO_2]						Total
		Gás Natural	GPL	Gasóleo aquecimento	Gasóleo	Gasolina	Outros	
Edifícios e equipamentos Municipais	974	287	449	26	-	-	-	1 735
Iluminação Pública	3 431	-	-	-	-	-	-	3 431
Serviços	41 784	5 448	3 655	1 222	-	-	5 788	52 089
Edifícios Residenciais	48 546	10 599	9 810	1 883	-	-	-	70 767
Indústria	99 327	107 703	1 366	436	5 855	-	21 276	235 252
Transportes	151	20	2 202	-	167 791	33 604	709	204 477
Agricultura, floresta e pesca	752	26	-	-	1 719	-	3	2 500
Total sem produção de energia	194965	124083	17482	3567	175365	33604	27776	570 251

Fazendo uma análise mais detalhada por setor de atividade (figura 19) verifica-se que, como esperado tendo em conta os valores de consumo de energia reportados, os setores que mais emitem são a Indústria (41%), e os transportes (36%). Seguidamente e

⁴¹ produção de energia não incluída para evitar dupla contagem de emissões

com consumos significativos encontram-se os edifícios residenciais (12%) e os serviços (9%). Note-se que os edifícios e equipamentos sob alçada municipal (inclui iluminação pública) apresentam valores de emissões residuais na pegada total do município.

Em relação ao consumo de energia por vetor energético no município (figura 20) verifica-se que os maiores emissores de CO₂ são o consumo de eletricidade (34%) e gásóleo (30%). O gás natural também é responsável por uma porção significativa das emissões (21%).

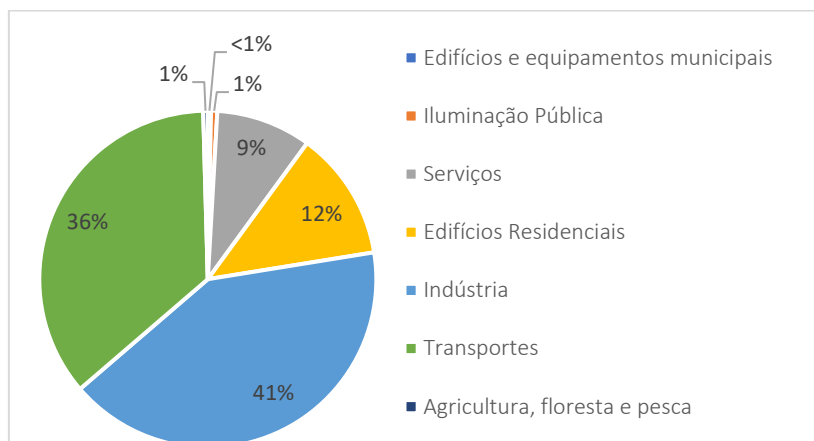


Figura 19 – Distribuição das emissões de GEE por setor de atividade.

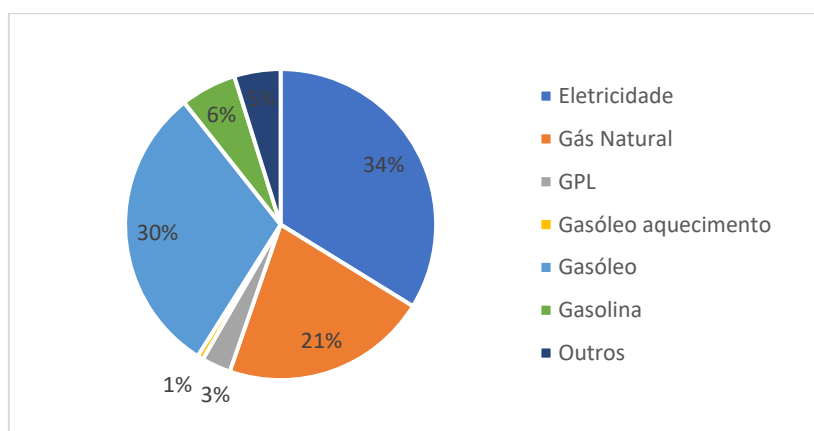


Figura 20 – Distribuição das emissões de GEE por vetor de energia.

Desde o ano base de 2008 até ao ano de 2014 (figura 21), ano onde foi registada a menor quantidade de emissões, verificou-se uma redução de 29,3%, resultados generosamente positivos face aos objetivos do município perante o Pacto de Autarcas (redução de 20% até 2020).

Contudo, estes resultados parecem seguir a tendência nacional de desaceleração da economia no mesmo período. Após 2014, verifica-se a inversão da tendência de redução com o aumento progressivo de emissões, algo que poderá estar relacionado com

a recuperação económica também observada a nível nacional. O ano de 2018 registou uma redução de 19,6% relativamente ao ano base. Apesar do resultado estar em linha com os objetivos para 2020, é necessário o alerta para um eventual prosseguimento da tendência de ascensão das emissões.

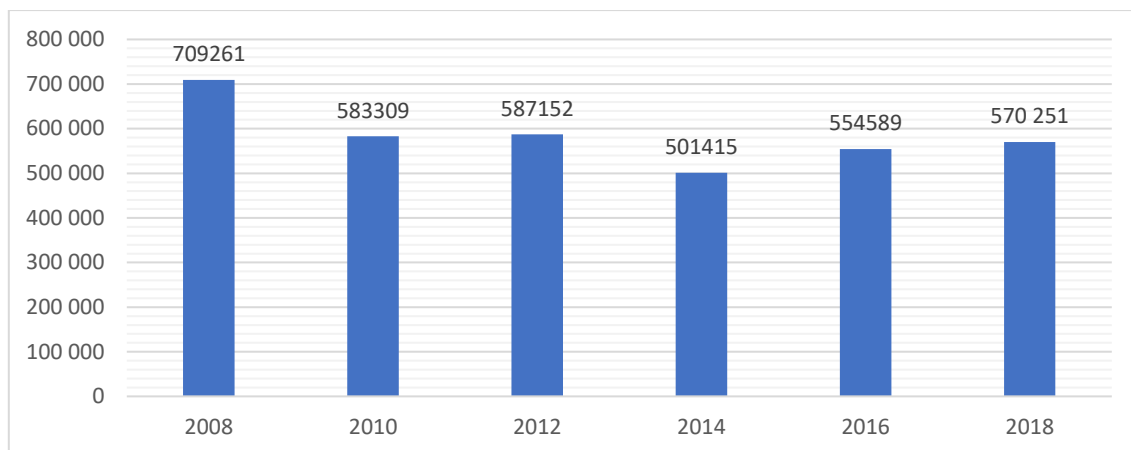


Figura 21 - Evolução das emissões de CO₂ [toneladas/ano].

5. Resultados e Discussão

A figura 22 representa a carta de uso e ocupação do solo do município de Guimarães, este é maioritariamente coberto por floresta 38,3%, seguindo-se a área com uso e ocupação agrícola com 29,2% e a área artificializada com 26,2%, tabela 8.

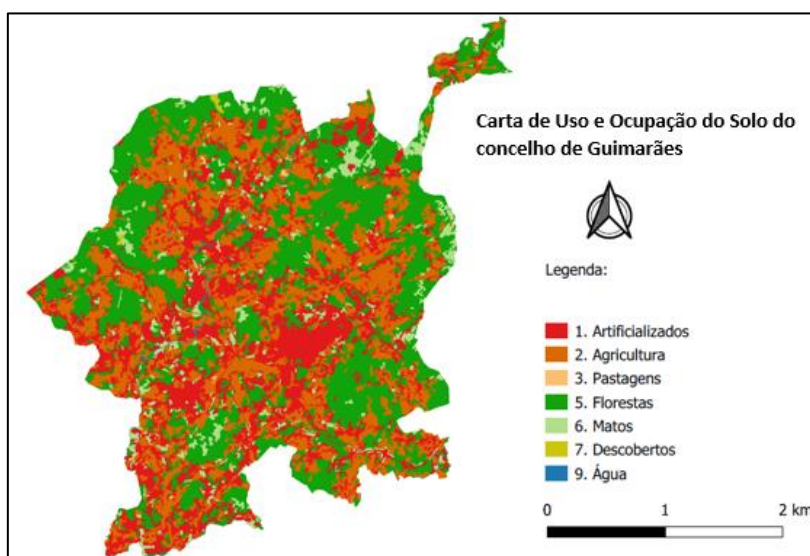


Figura 22 – Carta do uso e ocupação do solo do concelho de Guimarães

Tabela 8 – Distribuição das categorias de uso e ocupação do solo em 2018.

Categoria	Artificializados	Agricultura	Pastagens	Florestas	Matos	Descobertos	Água	Total
Hectares	6319,71	7037,4	36,76	9229,31	1356,38	30,18	90,12	24099,86
% do Total	26,2%	29,2%	0,2%	38,3%	5,6%	0,1%	0,4%	100,0%

5.1. Evolução do uso do solo (período 1995-2018)

A tabela 9 quantifica as áreas em hectares, representando de modo quantitativo o conteúdo que pode ser observado na figura 23. Consiste numa matriz que permite quantificar as alterações das categorias entre dois períodos, assim como, o que ficou inalterado.

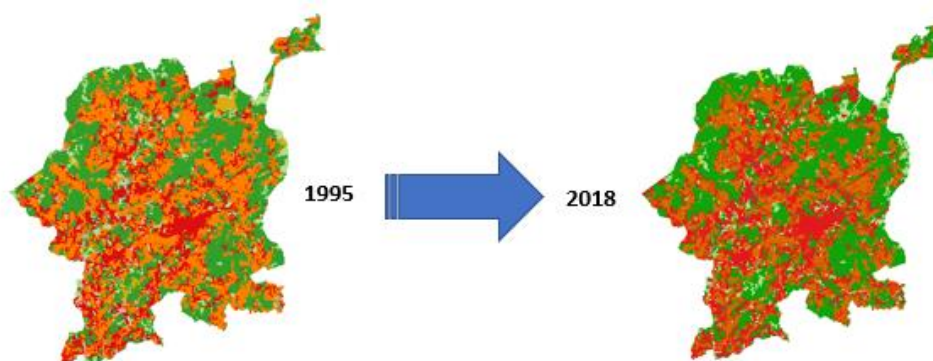


Figura 23 – Representação esquemática da evolução do uso e ocupação do solo entre 1995 e 2018.

Tabela 9- Matriz da evolução do uso e ocupação do solo em hectares [ha] entre 1995 e 2018.

Antiga Categoria COS (1995)	Nova Categoria COS (2018)							
	1. Artificializados	2. Agrícola	3. Pastagens	5. Florestas	6. Matos	7. Descobertos	9. Água	Total
1. Artificializados	4841,08	45,11	0	13,78	28,97	0	0	4928,94
2. Agrícola	803	6512,06	18,13	523,74	252,86	0	0,72	8110,51
3. Pastagens	49,46	192,88	10,04	33,81	79,55	0	0	365,74
5. Florestas	370,81	223,42	0	8130,52	107,73	0	15,84	8848,32
6. Matos	222,51	61,32	8,59	382,02	695,66	0	0	1370,1
7. Descobertos	32,36	1,82	0	141,41	191,61	30,18	0	397,38
9. Água	0,49	0,79	0	4,03	0	0	73,56	78,87
Total	6319,71	7037,4	36,76	9229,31	1356,38	30,18	90,12	24099,86
Distribuição 2018 %	26,2%	29,2%	0,2%	38,3%	5,6%	0,1%	0,4%	100,0%

A tabela 10 mostra a variação das categorias de uso e ocupação do solo entre 1995 e 2018, destaca-se o aumento da artificialização, em valores absolutos, onde se verifica a maior alteração com o incremento de 1390,77 hectares da categoria, mostrando uma clara expansão do solo urbano no concelho. Destaca-se ainda a elevada perda de solos como as pastagens (-89,9%) e agrícola (-13,2%) e o aumento de área florestal (+4,3%).

Tabela 10 – Variação da distribuição das categorias de uso e ocupação entre 1995 e 2018.

COS	1. Artificializados	2. Agrícola	3. Pastagens	5. Florestas	6. Matos	7. Descobertos	9. Água
1995	4928,94	8110,51	365,74	8848,32	1370,1	397,38	78,87
2018	6319,71	7037,4	36,76	9229,31	1356,38	30,18	90,12
Diferença	1390,77	-1073,11	-328,98	380,99	-13,72	-367,2	11,25
Var. % (1995-2018)	+28,2%	-13,2%	-89,9%	+4,3%	-1,0%	-92,4%	+14,3%

5.2. Contabilização das reservas de carbono

Este capítulo mostra os resultados obtidos pela aplicação da metodologia anteriormente descrita. Expõe os balanços de carbono (C) e dióxido de carbono (CO₂) em cada categoria de uso e ocupação do solo do concelho de Guimarães, assim como o resultado do balanço total de emissões do setor LULUCF. As fórmulas, dados e folhas de cálculo utilizadas podem ser consultadas do apêndice dois ao sete.

5.2.1. Áreas florestais e florestadas

A tabela 11 corresponde à matriz das sub-categorias florestais (espécies). No concelho de Guimarães no período de 1995 a 2018, as áreas florestais que se mantiveram florestais correspondem a 8130,52 hectares. O eucalipto é a espécie predominante,

ocupando 75% da categoria de solo florestal. Segue-se as outras folhosas com uma ocupação de 17%, outros carvalhos 5% e pinheiro-bravo 3%. A ocupação das restantes categorias está distribuída em valores residuais.

Tabela 11 – Matriz de representação das áreas (ha) convertidas e mantidas em florestas entre 1995 e 2018.

COS 1995 (ha)	Categorias Florestais 2018 (ha)									
	1.0	2.0	4.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	Total
1. Artificializados	0,34	7,36	1,87	0	0	4,21	0	0	0	13,78
2. Agricultura	45,18	71,15	10,55	0	5,25	375,61	0,52	1,77	13,71	523,74
3. Pastagens	4,58	6,56	0,53	0	0	22,14	0	0	0	33,81
5. Florestas	404,24	6430,97	223,18	0	19,02	1051,6	1,16	0	0,35	8130,52
6. Matos	17,16	264,79	17,53	1,9	3,95	72,88	1,25	2,56	0	382,02
7. Descobertos	2,43	137,55	0	0	0	1,43	0	0	0	141,41
9. Água	0	0	0	0	0	4,03	0	0	0	4,03
Total	473,93	6918,38	253,66	1,9	28,22	1531,9	2,93	4,33	14,06	9229,31
Distribuição 2018 %	5%	75%	3%	0%	0%	17%	0%	0%	0%	100%

Categorias Florestais 2018: 1. Outros Carvalhos; 2. Eucalipto; 4. Pinheiro-Bravo; 6. Sobreiro; 7. Invasoras; 8. Outras Folhosas; 9. Outras Resinosas; 10. Pinheiro Manso; 11. Castanheiro

5.2.1.1. Sequestro/emissão de carbono nas áreas florestais e florestadas

A tabela 12 mostra os ganhos anuais das reservas de carbono, que totalizam 45381,45 toneladas, sendo a subcategoria florestal (Eucalipto) responsável por 91,3% do carbono sequestrado no concelho. As subcategorias correspondentes a outras folhosas e outros carvalhos são responsáveis por sequestrar 4,8% e 1,7% respetivamente.

Tabela 12 - Matriz dos ganhos de carbono (C) das categorias de uso e ocupação do solo florestal.

COS 1995	Armazenamento de carbono na biomassa viva florestal (toneladas de C ano ⁻¹)									
	Categorias Florestais 2018									
	1.0	2.0	4.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	Total
1. Artificializados	0,55	44,07	6,82	0,00	0,00	5,95	0,00	0,00	0,00	57,40
2. Agricultura	73,55	426,07	38,48	0,00	7,26	530,56	0,91	7,60	27,09	1111,52
3. Pastagens	7,46	39,28	1,93	0,00	0,00	31,27	0,00	0,00	0,00	79,95
5. Florestas (FF)	658,03	38510,75	814,03	0,00	26,31	1485,42	2,03	0,00	0,69	41497,26
6. Matos	27,93	1585,65	63,94	0,86	5,46	102,95	2,19	11,00	0,00	1799,98
7. Descobertos	3,96	823,69	0,00	0,00	0,00	2,02	0,00	0,00	0,00	829,67
9. Água	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,69	0,00	0,00	0,00	5,69
Total	771,48	41429,52	925,20	0,86	39,03	2163,86	5,13	18,60	27,78	45381,45
Distribuição 2018 %	1,7%	91,3%	2,0%	0,0%	0,1%	4,8%	0,0%	0,0%	0,1%	100,0%

Categorias Florestais 2018: 1. Outros Carvalhos; 2. Eucalipto; 4. Pinheiro-Bravo; 6. Sobreiro; 7. Invasoras; 8. Outras Folhosas; 9. Outras Resinosas; 10. Pinheiro Manso; 11. Castanheiro

Apenas serão contabilizadas as perdas relativas ao uso de madeira para propósitos não declarados como o consumo doméstico e podas (tabela 13). Estimado em 25% do incremento médio anual (NIR, 2021). Portanto, estima-se uma perda anual total de carbono de 10370,97 toneladas.

Tabela 13 – Perdas de carbono (c) nas florestas devido a perdas relativas ao uso de madeira.

Categoria Florestal	Área (ha)	Toneladas C ano ⁻¹
1. Outros Carvalhos	404,24	161,16
2. Eucalipto	6430,97	9627,69
4. Pinheiro Bravo	223,18	203,51
6. Sobreiro	0	0
7. Invasoras	19,02	6,58
8. Outras Folhosas	1051,6	371,36
9. Outras Resinosas	1,16	0,51
10. Pinheiro Manso	0	0
11. Castanheiro	0,35	0,17
Total	8130,52	10370,97

5.2.1.2. Balanço anual de dióxido de carbono (CO₂) das florestas

Aplicando a equação 1, verifica-se que a categoria de uso e ocupação de solo florestal é responsável por sequestrar 128371,79 toneladas de CO₂ anualmente.

$$\Delta C_{FL} = 35010,49 \text{ toneladas C ano}^{-1}$$

$$\text{Convertendo C para CO}_2: = \mathbf{128371,79 \text{ toneladas de CO}_2 \text{ ano}^{-1}}$$

5.2.2. Áreas agrícolas e áreas convertidas para agrícolas

A categoria de uso e ocupação agrícola sofreu uma diminuição de 1073,1 hectares entre 1995 e 2018 (tabela 10). Tal facto pode estar relacionado com o baixo número de conversões para esta categoria. Analisando a tabela 14, vemos que a área que se manteve na categoria agrícola corresponde a 6512,06 hectares e foram convertidos 525,34 hectares ,num total de 7037,4 hectares.

Tabela 14 - Matriz de representação das áreas (ha) convertidas e mantidas em solo agrícola.

COS 1995	Categorias agrícolas 2018 (ha)							
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	Total
1. Artificializados	20,43	3,45	6,14	0,1	12,07	2,87	0,05	45,11
2. Agricultura (CC)	4608,16	864,08	309,78	2,83	256,78	403,39	67,04	6512,06
3. Pastagens	144,97	11,73	19,99	0	9,62	6,57	0	192,88
5. Florestas	80,12	67,02	50,54	0,97	8,97	12,08	3,72	223,42
6. Matos	41,1	11,55	3,49	0	1,18	4	0	61,32
7. Descobertos	1,05	0,77	0	0	0	0	0	1,82
9. Água	0,79	0	0	0	0	0	0	0,79
Total	4896,62	958,6	389,94	3,9	288,62	428,91	70,81	7037,4
Categorias agrícolas 2018: 1. Culturas temporárias de sequeiro e regadio; 2. Vinhas; 3. Pomares; 4. Olivais; 5. Mosaicos culturais e parcelares complexos; 6. Agricultura com espaços naturais e seminaturais; 7. Agricultura Protegida e viveiros								

5.2.2.1. Sequestro/emissão de carbono nas áreas agrícolas

No cálculo da biomassa todas as categorias de solo agrícola (exceto culturas perenes: vinhas, pomares, Olivais), assim como as categorias que se convertem, supõe-se que não existam variações líquidas no balanço da biomassa, ou seja, a diferença entre os ganhos e as perdas é zero.

No caso das culturas perenes utilizaram-se os valores da tabela 4 para aplicar na equação 7.

Como supramencionado, os ganhos de carbono resultam das subcategorias que correspondem a culturas perenes. Estima-se um ganho anual de carbono total de 489,992 toneladas. As vinhas assumem maior expressão nos ganhos, com uma parcela de 61%, seguindo-se os pomares com 39%. O olival tem um ganho residual inferior a 1%.

Tabela 15 - Matriz dos ganhos anuais de carbono (C) das categorias de uso e ocupação agrícola (culturas perenes).

COS 1995	Categorias agrícolas - Culturas perenes 2018 (toneladas de C ano ⁻¹)			
	2. Vinhas	3. Pomares	4. Olivais	Total
1. Artificializados	1,07	3,01	0,05	4,12
2. Agricultura	267,87	151,79	1,27	420,93
3. Pastagens	3,64	9,8	0	13,43
5. Florestas	20,78	24,77	0,44	45,98
6. Matos	3,58	1,71	0	5,29
7. Descobertos	0,24	0	0	0,24
9. Água	0	0	0	0
Total	297,17	191,07	1,76	489,99

Tal como nos ganhos, assume-se a mesma suposição do balanço líquido da biomassa viva para as categorias de solo agrícolas que permanecem agrícolas.

No caso de conversões de outras categorias para solo agrícola, as perdas de biomassa viva resultam da quantidade perdida correspondente à antiga categoria, considerando-se apenas as perdas nos casos em que a categoria anterior é de solo florestal (tabelas 16 e 17).

No caso das culturas perenes acrescem as perdas de carbono devido às podas (tabela 18).

Tabela 16 – Área desflorestada (ha) para conversão em categoria de solo agrícola.

Florestas COS (1995)	Categorias Agrícolas 2018 (ha)							
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	Total
1. Outros Carvalhos	23,68	4,19	3,31	0	1,54	0	1,9	34,62
2. Eucalipto	19,12	30,39	28,7	0,97	3,45	4,38	0	87,01
4. Pinheiro Bravo	9,05	10,75	0,41	0	1,83	2,26	0	24,3
8. Outras Folhosas	28,27	21,69	18,12	0	2,15	5,44	1,82	77,49
9. Outras Resinosas	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	80,12	67,02	50,54	0,97	8,97	12,08	3,72	223,42

Categorias agrícolas 2018: 1. Culturas temporárias de sequeiro e regadio; 2. Vinhas; 3. Pomares; 4. Olivais; 5. Mosaicos culturais e parcelares complexos; 6. Agricultura com espaços naturais e seminaturais; 7. Agricultura Protegida e viveiros

Tabela 17 - Perdas anuais de carbono devido às áreas desflorestadas.

Florestas COS_1995	Categorias Agrícolas (toneladas de C ano ⁻¹)							
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	Total
1. Outros Carvalhos	38,55	6,82	5,39	0	2,51	0	3,09	56,36
2. Eucalipto	114,5	181,99	171,87	5,81	20,66	26,23	0	521,04
4. Pinheiro Bravo	33,01	39,21	1,5	0	6,68	8,24	0	88,63
8. Outras Folhosas	39,93	30,64	25,6	0	3,04	7,68	2,57	109,46
9. Outras Resinosas	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	225,99	258,65	204,34	5,81	32,88	42,16	5,66	775,49

Categorias agrícolas 2018: 1. Culturas temporárias de sequeiro e regadio; 2. Vinhas; 3. Pomares; 4. Olivais; 5. Mosaicos culturais e parcelares complexos; 6. Agricultura com espaços naturais e seminaturais; 7. Agricultura Protegida e viveiros

Como mencionado na metodologia para a contabilização da perda carbono devido às podas considerou-se uma redução de 32% do valor anual de ganhos das respetivas categorias de culturas perenes.

Tabela 18- Perdas anuais de carbono devido às podas de culturas perenes.

COS 1995	Perdas anuais de carbono das podas (toneladas de C ano ⁻¹)			
	Vinhas	Pomares	Olivais	Total
1. Artificializados	0,34	0,96	0,01	1,32
2. Agricultura (CC)	85,72	48,57	0,41	134,7
3. Pastagens	1,16	3,13	0	4,3
5. Florestas	6,65	7,93	0,14	14,71
6. Matos	1,15	0,55	0	1,69
7. Descobertos	0,08	0	0	0,08
9. Água	0	0	0	0
Total	95,09	61,14	0,56	156,8

5.5.2.2. Balanço anual de dióxido de carbono (CO₂) das áreas agrícolas

Aplicando a equação 1, verifica-se que a categoria de uso e ocupação de solo agrícola é responsável pela emissão de 1621,75 toneladas de CO₂ anualmente.

$$\Delta C_{CL} = -442,23 \text{ toneladas C ano}^{-1}$$

$$\text{Convertido para C para CO}_2: = -1621,75 \text{ toneladas de CO}_2 \text{ ano}^{-1}$$

5.2.3. Áreas de pastagens e matos

As categorias de uso e ocupação do solo pastagens e matos foram mantidas na categoria (G). De acordo com o NIR (2021), em ambas as categorias, quando se mantêm na mesma categoria os valores anuais dos ganhos e das perdas assumem-se do mesmo modo, sendo o seu balanço de valor zero. No caso de conversões para as categorias pastagens e matos (G), os cálculos foram efetuados conforme explicado no capítulo da metodologia.

A tabela 19 revela a matriz de representação de áreas para as categorias de pastagens e matos (G). Em 2018 no concelho de Guimarães, verifica-se uma área de 36,76 hectares de Pastagens e 1356,38 de Matos.

Tabela 19 - Matriz de representação das áreas (ha) convertidas e mantidas em pastagens e matos.

COS (1995)	Pastagens e Matos 2018 (ha)		
	Pastagens	Matos	Total
1. Artificializados	0	28,97	28,97
2. Agricultura	18,13	252,86	270,99
3. Pastagens (GG)	10,04	79,55	89,59
5. Florestas	0	107,73	107,73
6. Matos (GG)	8,59	695,66	704,25
7. Descobertos	0	191,61	191,61
9. Água	0	0	0
Total	36,76	1356,38	1393,14

5.2.3.1. Sequestro/Emissão de Carbono das Pastagens e Matos

No cálculo da biomassa viva na categoria pastagens e matos (G) que permanecem inalteradas supõe-se que não existem variações líquidas no balanço da biomassa, ou seja, a diferença entre os ganhos e as remoções é zero.

No caso de mudança de outras categorias para pastagens e matos (G) (tabela 20), os ganhos de biomassa viva resultam da acumulação de vegetação de acordo com os valores dos ganhos anuais apresentados no capítulo da metodologia.

Tabela 20 - Matriz dos ganhos anuais de carbono (c) das categorias de uso e ocupação pastagens e matos.

COS (1995)	Pastagens e Matos (toneladas de C ano ⁻¹)		
	Pastagens	Matos	Total
1. Artificializados	0	19,99	19,99
2. Agricultura	26,65	174,47	201,13
5. Florestas	0	74,33	74,33
7. Descobertos	0	132,21	132,21
9. Água	0	0	0
Total	26,65	401,01	427,66

Tal como nos ganhos, assume-se a mesma suposição do balanço líquido da biomassa viva para as categorias de pastagens e matos (G) que permanecem inalteradas.

No caso de conversões de outras categorias para pastagens e matos (G), as perdas de biomassa viva resultam da quantidade desaparecida correspondente à antiga categoria, considerando-se apenas perdas nos casos em que a categoria anterior é de solo florestal e culturas perenes.

A tabela 21 mostra as conversões da categoria florestal para matos, explicita as áreas convertidas e a perda de carbono associada. No total foram desflorestados 107,73 hectares, correspondendo a uma perda anual total de 431,332 toneladas de carbono.

Tabela 21 – Área desflorestada e perda de carbono associada para a conversão em categorias pastagens e matos.

Florestas (1995)	Matos	
	Área (ha)	toneladas de C ano ⁻¹
1. Outros Carvalhos	10,96	17,84
2. Eucalipto	49,42	295,94
4. Pinheiro Bravo	22,67	82,69
8. Outras Folhosas	24,68	34,86
Total	107,73	431,33

A tabela 22 mostra as conversões da categoria agrícola (culturas perenes) para a categoria Pastagens e Matos. A perda da categoria agrícola resultou numa perda anual de 14,372 toneladas de carbono.

Tabela 22 - Perdas anuais de carbono devido à perda de culturas perenes para a categoria pastagens e matos.

Uso e Ocupação Agrícola (1995)	Áreas (ha)			Toneladas de C ano ⁻¹		
	3. Pastagens	6.Matos	Total	3.	6.	Total
2. Vinhas	7,51	26,87	34,38	2,328	8,330	10,658
3. Pomares	0	7,58	7,58	0,000	3,714	3,714
Total	18,13	252,86	270,99	2,328	12,044	14,372

5.2.3.2. Balanço anual de dióxido de carbono (CO₂) das Pastagens e Matos

Aplicando a equação 1, verifica-se que a categoria de uso e ocupação de solo referente às Pastagens e Matos é responsável pela emissão de 66,169 toneladas de CO₂ anualmente.

$$\Delta C_{GL} = -18,046 \text{ toneladas C, ano}^{-1}$$

$$\text{Convertido C para CO}_2 = - \mathbf{66,17 \text{ toneladas de CO}_2 \text{ ano}^{-1}}$$

5.2.4. Áreas artificializadas

Na totalidade existem 6319,71ha de solo artificializado no concelho de Guimarães (tabela 23). Durante o período de 1995 e 2018 foram incrementados 1478,63 hectares de solo artificializado correspondendo a um aumento de 31,5%. A categoria de uso e ocupação solo que mais perdeu para a artificialização foi a agrícola (803ha), valor

correspondente a 54% do solo artificializado incrementado, seguindo-se a florestal (25%) e pastagens e matos (G) (18%).

Tabela 23 - Matriz de representação das áreas (ha) convertidas e mantidas em artificializados.

COS 1995		Artificializados 2018 (ha)	
		Artificializados	Total (ha)
SS	1. Artificializados	4841,08	4841,08
CS	2. Culturas temporárias de sequeiro e regadio	386,03	803
	3. Vinhas	37,49	
	4. Pomares	8,62	
	6. Mosaicos culturais e parcelares complexos	149,58	
	7. Agricultura com espaços naturais e seminaturais	221,28	
FS	9. Outros Carvalhos	14,86	370,81
	10. Eucalipto	197,49	
	11. Outras Folhosas	56,94	
	12. P. Bravo	101,52	
	13. Outras Resinosas	0	
GS	18. Pastagens	49,46	271,97
	19. Matos	222,51	
OS	20. Descobertos	32,36	
WS	21. Massas de água	0,49	
Total		6319,71	

5.2.4.1. Sequestro/Emissão de carbono dos artificializados

Nesta categoria de uso e ocupação do solo não se contabilizam os ganhos, pois não existem incrementos de biomassa, logo o seu valor é zero.

No caso de artificialização de outras categorias de uso e ocupação do solo, as perdas de biomassa viva resultam da quantidade de carbono perdida correspondente à antiga categoria, considerando-se apenas as perdas nos casos em que a categoria anterior é de solo florestal e culturas perenes.

A perda de solos florestais e agrícolas para a artificialização resultou numa perda anual de carbono de 1673,383 toneladas (tabela 24).

Tabela 24 - Matriz de representação das áreas e perdas de carbono convertidas e mantidas em artificializados.

COS 1995		Artificializados 2018		
		Artificializados (ha)	(toneladas de C ano ⁻¹)	
CS	3. Vinhas	37,49	11,622	15,846
	4. Pomares	8,62	4,224	
FS	9. Outros Carvalhos	14,86	24,190	1657,538
	10. Eucalipto	197,49	1182,635	
	11. Outras Folhosas	56,94	80,430	
	12. P. Bravo	101,52	370,284	
Total		416,92	1673,383	

5.2.4.2. Balanço anual de dióxido de carbono (CO₂) dos artificializados

Aplicando a equação 1, verifica-se que a categoria de uso e ocupação de solo artificializados é responsável pela emissão de 6135,738 toneladas de CO₂ anualmente.

$$\Delta C_{GL} = -1673,38 \text{ toneladas C, ano}^{-1}$$

$$\text{Convertendo C para CO}_2 = \mathbf{-6135,73} \text{ toneladas de CO}_2 \text{ ano}^{-1}$$

5.2.5. Áreas de descobertos

A tabela 9 mostra que os solos descobertos consistem em 30,18 hectares que se mantêm desde 1995, nenhuma categoria de solo foi convertida em descobertos. No cálculo da biomassa viva dos solos descobertos que permanecem inalterados supõe-se que não existem variações líquidas no balanço da biomassa, ou seja, a diferença entre os ganhos e as remoções é zero.

5.2.6. Áreas de zonas húmidas (água)

A tabela 9 mostra que o uso e ocupação do solo que corresponde às zonas húmidas (água) consiste em 73,56 hectares que se mantêm desde 1995, tendo também sido convertidos para a categoria 15,84 hectares de floresta e 0,72 hectares de solo agrícola. No total a categoria que representa as zonas húmidas abrange 90,12 hectares. No cálculo da biomassa viva das zonas húmidas (água) que permanecem inalteradas e nas conversões, supõe-se que não existem variações líquidas no balanço da biomassa, ou seja, a diferença entre os ganhos e as remoções é zero.

5.3. Balanço total do setor LULUCF

Aplicando a equação 2, verifica-se que o setor LULUCF é responsável pelo sequestro de 120548,13 toneladas de CO₂ anualmente no concelho de Guimarães.

$$\Delta C_{LULUCF} = 120548,13 \text{ toneladas de CO}_2 \text{ ano}^{-1}$$

5.4. A pegada carbónica do concelho de Guimarães

Com o acrescento do setor LULUCF à matriz de emissões do concelho de Guimarães (tabela 25 e figura 24) verifica-se uma diminuição das emissões de CO₂ de 120548,13 toneladas que correspondem a 21% do valor verificado sem o setor LULUCF.

Tabela 25 – Pegada carbónica.

Setor	Toneladas de CO ₂	Toneladas de CO ₂ per capita (2018)
Edifícios e equipamentos municipais	1 735	0,011
Iluminação Pública	3 431	0,022
Serviços	52 089	0,341
Edifícios Residenciais	70 767	0,463
Indústria	235 252	1,540
Transportes	204 477	1,338
Agricultura, floresta e pesca	2 500	0,016
Total (Setor energia móvel e estacionária)	570 251	3,732
LULUCF	-120548,13	-0,789
Total com LULUCF	449 703	2,943

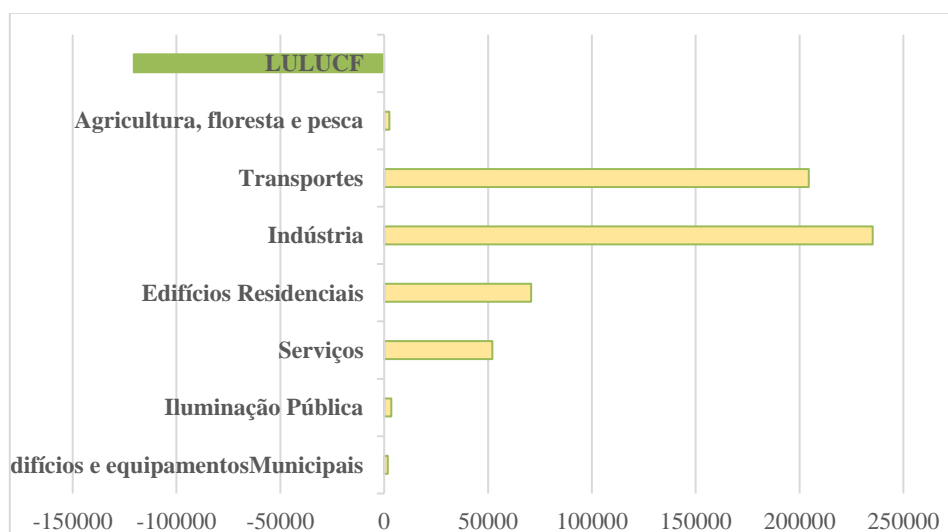


Figura 24 – Gráfico das emissões desagregadas por setores.

5.5. Discussão

O uso e ocupação do solo define uma matriz predominantemente florestal, agrícola e artificializada do território de Guimarães, onde os solos florestais e agrícolas dominam desde há muito tempo grande parte da paisagem. Contudo, a expansão de áreas artificializadas tem contribuído para uma diminuição das áreas naturais. Nas últimas décadas a característica rural do território do concelho tem sido reduzida realçando-se uma urbanização dispersa (Eixo 21, s.d.).

Os solos agrícolas foram os solos que mais perderam área no período em análise (-13,2%). A sua alteração, principalmente por via da artificialização, em parte se deve a processos de parcelamento da propriedade rústica muitas vezes constituídos para dar lugar a edifícios familiares (Eixo 21, s.d.). São ainda registadas, perdas de solo agrícola significativas a favor das categorias de uso e ocupação de solo florestal e matos, com perdas de 523,74 e 252,86 hectares, respetivamente. A origem desta mudança pode ser explicada pelo abandono dos campos (os matos podem ser um indicador) e a consequente fuga para a cidade, assim como, pela expansão florestal (Eixo 21, s.d.). O sequestro de carbono na categoria de uso e ocupação do solo agrícola apenas se verifica nas culturas perenes, que contabilizando as perdas de biomassa devido a podas, são responsáveis pelo sequestro de 333,19 toneladas de carbono. No entanto, as perdas de biomassa devido à desflorestação para criar solo agrícola fazem com que esta seja uma categoria emissora de carbono (442,23 toneladas) que correspondem a 1621,75 toneladas de CO₂.

O aumento da área florestal deveu-se à introdução e expansão de plantações de pinheiro-bravo e eucalipto no concelho, isto pode ser causa da rápida regeneração natural pós incêndios, que é característica nestas espécies, ou por plantação com a finalidade de produção (PMDFCI, 2019). Num olhar pormenorizado à floresta do concelho de Guimarães em 2018, afere-se que o eucalipto é a espécie florestal predominante em termos de área cobrindo 75% do total. O eucalipto também é o principal responsável pelo sequestro de carbono (91,3%), tal facto deve-se à grande quantidade de eucalipto em área, sendo também a espécie, no presente estudo, com maior média anual de crescimento da biomassa (3,2 t ha⁻¹ ano⁻¹).

Ocorrem com segunda maior frequência na categoria de solo florestal, as áreas de outras folhosas (17%) responsáveis pelo sequestro de carbono, na categoria, de 4,8%. Portanto, na categoria florestal do concelho de Guimarães, as áreas de eucalipto e outras folhosas são responsáveis por 96,1% do sequestro de carbono na biomassa viva, as áreas

das restantes espécies sequestram os remanescentes 3,9%. No total a biomassa viva da área florestal em 2018 armazenou 45381,45 toneladas de carbono.

As perdas anuais de carbono na área florestal do concelho de Guimarães são de 10370,97 toneladas. O cálculo destes valores teve como consideração as perdas relativas ao uso de madeira para propósitos não declarados como o consumo doméstico e podas, foi assumido um valor conservador de 25% do incremento médio anual de biomassa para cada espécie (NIR, 2021). No entanto, segundo a metodologia utilizada, idealmente deviam ser contabilizados outros tipos de perdas, tais como: recolha e abate industrial (pode ser importante dado a principal espécie ser o eucalipto); fogos florestais e madeira salva; conversão entre categorias florestais (abate de uma espécie florestal para a inserção de uma outra); mortalidade natural (cadastro da idade, pragas, etc.). Portanto, o valor calculado das perdas pode estar subvalorizado, pelo que pode ser relevante incluir o seu cálculo em trabalhos futuros.

O balanço total de carbono na categoria de uso e ocupação do solo florestal é de 35010,49 toneladas que correspondem a um sequestro anual de 128371,79 toneladas de CO₂.

Os solos artificializados indubitavelmente não são sequestradores de carbono, pelo que nem sequer foram considerados para o efeito, no entanto, ao nível das emissões foram contabilizadas as que estão associadas as antigas categorias de uso do solo contabilizando 1673,38 toneladas de carbono que correspondem a 6135,73 toneladas de CO₂.

As categorias de pastagens e matos foram responsáveis pela emissão de 18,05 toneladas de carbono que correspondem a 66,17 toneladas de CO₂. Novamente as emissões relacionadas com as perdas da categoria de uso do solo anterior superam os valores de sequestro.

Este trabalho permitiu avaliar alterações na paisagem e o carbono sequestrado nas categorias de uso e ocupação do solo, com base em dados trabalhados em SIG. Considerou-se apenas o carbono retido na biomassa viva, não se aferindo os restantes componentes, nomeadamente: a manta morta, que pode armazenar mais de 5% do carbono na floresta (Domke et al., 2016); o solo, o componente dos ecossistemas terrestres responsável pelo armazenamento de elevadas quantidades de carbono (Kowalska et al., 2020). A componente da biomassa viva das categorias de uso e ocupação do solo tem um peso elevado nos restantes componentes pois é responsável pela fixação do carbono atmosférico.

O balanço final do setor LULUCF no concelho de Guimarães resulta no sequestro de 120548,13 toneladas de CO₂, com este resultado a matriz de emissões reportada ao CoM sofre uma redução de 21% que de modo evidente não resulta na neutralidade carbónica do município. No entanto, pode trazer boas perspetivas futuras sendo uma mais-valia para a contribuição na mitigação às alterações climáticas, desde que salvaguardada a categoria de uso e alteração do solo florestal uma vez que de acordo com os resultados é o maior responsável pelo sequestro de CO₂. Expostos tais argumentos, considera-se importante ter em conta alguns aspetos chave:

- As incertezas nas estimativas são elevadas, dificultando a quantificação do impacto do sequestro nas políticas de mitigação das alterações climáticas. Isto exige uma maior validação dos dados de medição, e uma melhor delimitação espacial de categorias de uso e ocupação do solo (IPCC, 2006c).

- A variedade de condições naturais, tais como clima, condições do solo, disponibilidade de água e nutrientes e topografia, afetam as condições de crescimento da vegetação (IPCC, 2006c).

- Os ecossistemas desempenham um papel importante e insubstituível no armazenamento de carbono, como nas florestas, em muitos casos a implementação de medidas para aumentar o armazenamento de carbono nos habitats pode ter efeitos adversos na biodiversidade e nos serviços dos ecossistemas (EEA, 2022).

- As perturbações principalmente os incêndios florestais são uma ameaça para o sequestro de carbono, estes podem tornar locais de sequestro em emissores, algo já observado e reportado em Portugal.

O concelho sofreu alterações significativas das categorias de uso de solo agrícola e florestal para urbano, perdendo assim área de fixação de carbono. Tal facto, pode ser um indicador de que a urbanização de solos naturais constitui uma ameaça ao sequestro de carbono no concelho de Guimarães. Um importante exercício futuro poderá passar pelo levantamento e a avaliação profunda de estratégias, planos e políticas locais de ordenamento e proteção de território de modo a tentar perceber em que medida são os solos florestais e rurais protegidos e em que aspetos se deve melhorar. Um ponto de partida poderá ser a aferição de áreas no concelho pertencentes às redes ecológica e agrícola nacionais (REN e RAN).

6. Conclusão

O concelho de Guimarães tem uma participação ativa no combate às alterações climáticas e em questões de sustentabilidade. A atenção do município para este tema, mantendo o foco naquilo que são as metas nacionais e internacionais, é um claro sinal do comprometimento por parte da administração municipal. A sua atenção para estes temas não é recente, e a confirmação é demonstrada pela quantidade de estratégias e planos adotados pelo município. Signatário do Pacto de autarcas desde 2013, como de várias outras iniciativas, Guimarães é um município com metas definidas que pretende dar o seu contributo no combate às alterações climáticas ambicionado obter a neutralidade carbónica.

A matriz de consumos energéticos e emissões de GEE (sem o setor LULUCF) mostra que em 2018 Guimarães regista uma redução de 19,6% relativamente ao ano base de 2008. Apesar do valor satisfatório, que pode despertar a consideração de que há obtenção da meta estabelecida para 2020 (20% de redução em relação ao ano base), é necessária a atenção do município e verificar se a ligeira tendência de aumento das emissões desde 2014 não se continua a observar nos anos seguintes, podendo assim comprometer a primeira meta climática do município.

O setor LULUCF no concelho de Guimarães é responsável pelo sequestro de 120548,129 toneladas de CO₂ anualmente. A junção do setor LULUCF à atual matriz energética significa uma redução de 21% das emissões de CO₂ no ano de 2018. A categoria de uso e ocupação do solo florestal ocupa 38,3% do território do concelho de Guimarães, e de acordo com os resultados obtidos é a única categoria com um balanço de sequestro de carbono capaz de contribuir para a neutralidade carbónica, pois foi a única onde se verificaram remoções líquidas de dióxido de carbono da atmosfera. Portanto, mesmo com o sequestro de dióxido de carbono o concelho de Guimarães aproxima-se, mas não obtém a neutralidade carbónica.

Embora tenha uma capacidade finita de absorver CO₂ atmosférico, o sequestro terrestre de carbono é a opção atual mais desejável. O sequestro de carbono pode ser um auxílio num futuro em que a tecnologia o planeamento e a eficiência energética deixem emissões residuais para eliminar no concelho de Guimarães.

A precisão da representação da pegada de carbono poderá ser melhorada em futuras avaliações, através da contabilização de setores que não foram incluídos no

presente trabalho, nomeadamente: resíduos, processos industriais e uso de produtos, emissões fugitivas e transporte e armazenamento de CO₂.

A quantificação de emissões/remoções do setor LULUCF também podem ser melhoradas através de:

- Inclusão da quantificação de outras reservas de carbono como: outras remoções de madeira (ex.: fins industriais), manta morta e solos.

- Melhoria ao nível da representação de áreas, identificar áreas geridas de não geridas, tipos de uso, e idade dos povoamentos florestais. Identificação dos espaços verdes urbanos.

- Identificação de perturbações como incêndios florestais, mortalidade natural e fenómenos climáticos.

- Métodos de referenciação geográfica mais específicos para levantamento das características das categorias de uso e ocupação do solo (idade de povoamentos, tipo de solo, etc.)

Recomenda-se reportar as emissões de GEE e determinar a pegada de carbono todos os anos, e se possível melhorar o método de cálculo no sentido de aumentar a qualidade da informação.

7. Referências bibliográficas

Abbate, S., Di Paolo, L., Carapellucci, R., & Cipollone, R. (2021). Carbon uptake dynamics associated to the management of unused lands for urban CO₂ planning. *Renewable Energy*, 178: 946-959. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.124>

Affek, A., Degórski, M., Wolski, J., Solon, J., Kowalska, A., Roo-Zielinska, E., ... & Kruczkowska, B. (2019). Ecosystem service potentials and their indicators in postglacial landscapes: assessment and mapping. *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-04088-0>

Almond, R. E., Grooten, M., & Peterson, T. (2020). Living Planet Report 2020-Bending the curve of biodiversity loss. *World Wildlife Fund*.

APA – Agência Portuguesa do Ambiente. (2020). National Forestry Accounting Plan Portugal 2021-2025. Acedido em 20 de Julho de 2022, em: https://apambiente.pt/sites/default/files/Clima/Mitiga%C3%A7%C3%A3o/Plano%20Contabilidade%20Florestal%20Nacional%202021-2025/National%20Forestry%20Accounting%20Plan_Revised%20version%20january%202020.pdf

APA. (2021a). Planeamento. Acedido em 20 de julho de 2022, em: <https://apambiente.pt/clima/planeamento>

APA. (2021b). Relatório do Estado do Ambiente (REA). Acedido em 20 de julho de 2022, em: <https://sniambgeoviewer.apambiente.pt/GeoDocs/geoportaldocs/rea/REA2020/REA2020.pdf>

APA. (2021c). Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE). Acedido em 17 de julho de 2022, em: <https://apambiente.pt/clima/comercio-europeu-de-licencas-de-emissao-cele>

APA. (2021d). Plano Nacional de Energia e Clima (PNEC). Acedido em 20 de julho de 2022, em: <https://apambiente.pt/clima/plano-nacional-de-energia-e-clima-pnec>

APA. (2022a). Emissões de Gases com Efeito de Estufa. Acedido em 5 de julho de 2022, em: <https://rea.apambiente.pt/content/emiss%C3%B5es-de-gases-com-efeito-de>

https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_pt

Cook, J., Oreskes, N., Doran, P. T., Anderegg, W. R., Verheggen, B., Maibach, E. W., ... & Rice, K. (2016). Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming. *Environmental Research Letters*, 11(4): 048002. <http://doi.org/10.1088/1748-9326/11/4/048002>

Correia, A., & Oliveira, A. C. (2003). Principais espécies florestais com interesse para Portugal, Zonas de influência atlântica. Direcção-Geral das Florestas. *Estudos e Informação*, (322), 187 pp. Lisboa, Portugal.

Cruickshank, M. M., Tomlinson, R. W., & Trew, S. (2000). Application of CORINE land-cover mapping to estimate carbon stored in the vegetation of Ireland. *Journal of Environmental Management*, 58(4): 269-287. <https://doi.org/10.1006/jema.2000.0330>

Deng, S., Shi, Y., Jin, Y., & Wang, L. (2011). A GIS-based approach for quantifying and mapping carbon sink and stock values of forest ecosystem: A case study. *Energy Procedia*, 5: 1535-1545. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.03.263>

DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia. (2022). Política energética. *Estratégia Nacional para o Hidrogénio*. Acedido em 20 de julho de 2022, em: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-transversais/relacoes-internacionais/politica-energetica/estrategia-nacional-para-o-hidrogenio/>

Domke, G. M., Perry, C. H., Walters, B. F., Woodall, C. W., Russell, M. B., & Smith, J. E. (2016). Estimating litter carbon stocks on forest land in the United States. *Science of the Total Environment*, 557: 469-478. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.090>

Eixo Atlântico – Agenda 2. (s.d.). Compactação: uma visão de futuro mais sustentável. *Concelho de Guimarães*. Acedido em 25 de agosto de 2022, em: <https://www.cm-guimaraes.pt/cmguimaraes/uploads/document/file/13655/compactacao.pdf>

Environmental Protection Agency (EPA). (2022). Overview of Greenhouse Gases. Acedido em 18 de julho de 2022, em: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>

ESRI. (s.d.). *What is GIS?* Acedido em 08 de julho de 2022, em: <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>

European Commission (s.d.). LULUCF. Acedido em 14 de julho de 22 de Julho, em: <https://forest.jrc.ec.europa.eu/en/activities/lulucf/>

European Commission. (s.d.). Climate Action. *Causes of climate change*. Acedido em 13 de julho de 2022, em: https://ec.europa.eu/clima/climate-change/causes-climate-change_en

European Commission. (2019). What is the European Green Deal? Acedido em 13 de julho de 2022, em: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_19_6714

European Commission. (2022). 2030 targets. Acedido em 13 de Julho de 2022, em: https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/overall-targets-and-reporting/2030-targets_en

European Environment Agency (EEA). (2022). Carbon stocks and sequestration in terrestrial and marine ecosystems: a lever for nature restoration? Acedido em 02 de setembro de 2022, em: <https://www.eea.europa.eu/downloads/e0c7acbe03ea4804842fc40b0113560d/1652259203/carbon-stocks-and-sequestration-in.pdf>

Ferreira, A. J. D. (2009). As alterações climáticas e a floresta. In Floresta Viva, Património de Futuro (pp. 33–47). Proença-a-Nova: Câmara Municipal de Proença-a-Nova & Centro Ciência Viva da Floresta.

Florestas. (2021). Conhecer. *Maior área ardida em Portugal ocorre em condições meteorológicas extremas*. Acedido em 11 de julho de 2022, em: <https://florestas.pt/conhecer/area-ardida-em-portugal-e-um-dos-piores-registos-da-europa/>

Florestas.pt. (2020). Agroportal. *Produtividade florestal e diversidade: o perfil único da floresta portuguesa*. Acedido em 11 de julho de 2022, em: <https://www.agroportal.pt/produtividade-florestal-e-diversidade-o-perfil-unico-da-floresta-portuguesa/>

Galli, A., Iha, K., Pires, S. M., Mancini, M. S., Alves, A., Zokai, G., ... & Wackernagel, M. (2020). Assessing the Ecological Footprint and biocapacity of Portuguese cities: Critical results for environmental awareness and local management. *Cities*, 96: 102442. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102442>

Gemitzi, A., Albarakat, R., Kratouna, F., & Lakshmi, V. (2021). Land cover and vegetation carbon stock changes in Greece: A 29-year assessment based on CORINE and Landsat land cover data. *Science of The Total Environment*, 786:147408. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147408>

Global Footprint Network (2022). Earth Overshoot Day. Acedido em 25 de julho de 2022, em: <https://www.overshootday.org/>

ICNF - Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. (2017). Florestas – Estudos, Documentos, Estatísticas, Indicadores. *Glossário Técnico*. Acedido em 22 de julho de 2022, em: <https://www.icnf.pt/florestas/flestudosdocumentosestatisticasindicadores>

Iizuka, K., & Tateishi, R. (2015). Estimation of CO₂ sequestration by the forests in Japan by discriminating precise tree age category using remote sensing techniques. *Remote Sensing*, 7(11):15082-15113. <https://doi.org/10.3390/rs71115082>

Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA). (s.d.). Clima Normais. Acedido em 23 de julho de 2022, em: <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/?print=true>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006a). Introduction to the 2006 Guidelines. Acedido em 21 de julho de 2022, em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1_Volume1/V1_1_Ch1_Introduction.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change (2006b). IPCC *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 2 Energy*. Acedido em 21 de julho de 2022, em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>

Intergovernmental Panel on Climate Change (2006c). IPCC *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use*. Acedido em 21 de julho de 2022, em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_04_CH4_Forest_Land.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press*. Acedido em 21 de julho de 2022, em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_SPM.pdf

- Iversen, P., Lee, D., & Rocha, M. (2014). Understanding land use in the UNFCCC. *Climate and Land Use Alliance*. Acedido em 01 de agosto de 2022, em: <https://www.climateandlandusealliance.org/reports/understanding-land-use-in-the-unfccc/>
- Khan, I., Hou, F., & Le, H. P. (2021). The impact of natural resources, energy consumption, and population growth on environmental quality: Fresh evidence from the United States of America. *Science of the Total Environment*, 754: 142222. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142222>
- Kowalska, A., Pawlewicz, A., Dusza, M., Jaskulak, M., & Grobelak, A. (2020). Plant–soil interactions in soil organic carbon sequestration as a restoration tool. In *Climate Change and Soil Interactions* (pp. 663-688). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818032-7.00023-0>
- Lal, R. (2009). Sequestering atmospheric carbon dioxide. *Critical Reviews in Plant Science*, 28(3), 90-96. <https://doi.org/10.1080/07352680902782711>
- Lal, R., Smith, P., Jungkunst, H. F., Mitsch, W. J., Lehmann, J., Nair, P. R., ... & Ravindranath, N. H. (2018). The carbon sequestration potential of terrestrial ecosystems. *Journal of Soil and Water Conservation*, 73(6), 145A-152A. <https://doi.org/10.2489/jswc.73.6.145A>
- Lindsey, R., & Dahlman, L. (2022). Climate change: Global temperature. Acedido a 02 de agosto de 2022, em: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature>
- Marchi, M., Niccolucci, V., Pulselli, R. M., & Marchettini, N. (2018). Urban sustainability: CO₂ uptake by green areas in the historic centre of siena. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 12(4): 407-417. <https://doi.org/10.2495/DNE-V12-N4-407-417>
- Marsh-Patrick, A. (2010). Company GHG emissions reporting – a study on methods and initiatives. *Initiatives*, 239.
- McLellan, R., Iyengar, L., Jeffries, B., & Oerlemans, N. (2014). Living planet report 2014: species and spaces, people and places. *WWF International*.

Molin, P. G. (2010). Estimation of vegetation carbon stock in Portugal using land use/land cover data. Relatório de Dissertação de Mestrado em Ciências em Tecnologias Geoespaciais. ISEGI -Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

Myhre, G., Shindell, D., & Pongratz, J. (2014). Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In *Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 659-740). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.018>

NASA. (2022a). World of Change: Global Temperatures. Acedido em 27 de julho de 2022, em: <https://earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/global-temperatures>

NASA. (2022b). *Scientific Consensus: Earth's Climate Is Warming*. Acedido em 27 de agosto de 2022, em: https://climate.nasa.gov/scientific-consensus/#*

NIR. (2021). National Inventory Report (NIR). *Portugal*. Acedido em 24 de julho de 2022, em: <https://unfccc.int/documents/271508>

Nuss-Girona, S., Llausàs, A., Figueras, J., & Morera, S. (2016). The SEAP in the city of Girona, a crossroads between boldness and pragmatism. *Local Environment*, 21(4): 476-503. <https://doi.org/10.1080/13549839.2014.974150>

Olivier, J. G., & Peters, J. A. (2005). CO₂ from non-energy use of fuels: A global, regional and national perspective based on the IPCC Tier 1 approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 45(3), 210-225. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2005.05.008>

Ordem dos engenheiros. (s.d). Convenção da ONU sobre Alterações Climáticas. Acedido em 25 de Julho de 2022, em: <https://www.ordemengenheiros.pt/pt/centro-de-informacao/dossiers/consultorio-juridico/emissao-de-gases-com-efeitos-de-estufa/convencao-da-onu-sobre-alteracoes-climaticas/>

Pereira, H. M., Domingos, T. I. A. G. O., & Vicente, L. (2006). Assessing ecosystem services at different scales in the Portugal Millennium Ecosystem Assessment. *Bridging Scales and Knowledge Systems: Concepts and Applications in Ecosystem Assessment*, 59-79. Island Press, Washington.

Pieter Nick, T. C., Tenpierik, M. J., Sanyal, T., Tillie, N. M., van den Dobbelen, A. A., Thün, G., ... & Monti, S. (2022). Towards fossil free cities–Emission assessment of food

and resources consumption with the FEWprint carbon accounting platform. *Cleaner Environmental Systems*, 4: 100074. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cesys.2022.100074>

Pinheiro, H., Castro, J. P. M. D., & Azevedo, J. C. (2014). Alterações na paisagem e sequestro de carbono na freguesia de deilão, nordeste de Portugal. *Revista Árvore*, 38, 41-52. <http://hdl.handle.net/10198/9534>

Plano Diretor Municipal de Guimarães. (1995). Identidade Geográfica do Concelho de Guimarães – Quadro Natural. *Câmara Municipal de Guimarães*. Acedido em 18 de julho de 2022, em: <https://www.cm-guimaraes.pt/uploads/document/file/1403/35227.pdf>

PMDFCI – Plano Municipal de Defesa da Floresta contra Incêndios (2019). Caderno 1 – Diagnóstico. *Câmara Municipal de Guimarães*. Acedido em 30 de agosto de 2022, em: https://www.cm-guimaraes.pt/cmguimaraes/uploads/writer_file/document/7184/caderno_i_diagnostico.pdf

Popovici, E. A., Bălteanu, D., & Kucsicsa, G. (2013). Assessment of changes in land-use and land-cover pattern in Romania using Corine Land Cover Database. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 8(4), 195-208.

Quaranta, E., Dorati, C., & Pistocchi, A. (2021). Water, energy and climate benefits of urban greening throughout Europe under different climatic scenarios. *Scientific reports*, 11(1): 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88141-7>

República Portuguesa. (2019). Roteiro para a neutralidade carbónica 2050. *Estratégia de Longo Prazo para a Neutralidade Carbónica na economia portuguesa em 2050*. Acedido a 25 de julho de 2022, em: https://www.portugal.gov.pt/download_ficheiros/ficheiro.aspx?v=%3d%3dBAAAAB%2bLCAAAAAAABACzMDexAAAut9emBAAAAA%3d%3d

Ritchie, H. & Roser, M. (2020). Fossil Fuels. Acedido em 01 de Agosto de 2022, em: <https://ourworldindata.org/fossil-fuels>

Rivas, S., Urraca, R., Bertoldi, P., & Thiel, C. (2021). Towards the EU Green Deal: Local key factors to achieve ambitious 2030 climate targets. *Journal of Cleaner Production*, 320, 128878. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128878>

- Rivas, S., Urraca, R., Palermo, V., & Bertoldi, P. (2022). Covenant of Mayors 2020: Drivers and barriers for monitoring climate action plans. *Journal of Cleaner Production*, 332, 130029. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130029>
- Selin, N. Eckley. (2019). Carbon sequestration. *Encyclopedia Britannica*. Acedido em 21 de julho de 2022, em: <https://www.britannica.com/technology/carbon-sequestration>
- simpla. (s.d.). Guidelines. What is a SECAP? Acedido em 24 de julho de 2022, em: <http://www.simpla-project.eu/en/guidelines/introduction-and-problem-setting/definitions/what-is-a-secap/>
- Sparrevik, M., & Utstøl, S. (2020). Assessing life cycle greenhouse gas emissions in the Norwegian defence sector for climate change mitigation. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119196. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119196>
- Strielko, I., & Pereira, P. (2014). The benefits of GIS to land use planning. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (p. 15813).
- United Nations. (2022). The Paris Agreement. *What is the Paris Agreement?* Acedido em 20 de julho de 2022, em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
- United Nations. (s.d.). Generating power. Acedido a 20 de Julho de 2022, em: <https://www.un.org/en/climatechange/climate-solutions/cities-pollution>
- Vieira, A., Costa, F. D. S., & Corrêa, L. (2019). Valores geomorfológicos em áreas protegidas: o caso da Serra da Penha/Guimarães (Portugal). <https://doi.org/10.21814/physisterrae.2404>
- Wright, L. A., Coello, J., Kemp, S., & Williams, I. (2011). Carbon footprinting for climate change management in cities. *Carbon Management*, 2(1): 49-60. <https://doi.org/10.4155/cmt.10.41>
- Xi-Liu, Y. U. E., & Qing-Xian, G. A. O. (2018). Contributions of natural systems and human activity to greenhouse gas emissions. *Advances in Climate Change Research*, 9(4), 243-252. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2018.12.003>

Apêndice 1– Folha de Calculo IPCC - Florestas que permanecem florestas (Ganhos)

Sector		Agriculture, Forestry and Other Land Use									
Category		Forest Land Remaining Forest Land: Annual increase in carbon stocks in biomass (includes above-ground and below-ground biomass)									
Category code		3B1a									
Sheet		1 of 4									
Land-use category	Equation	Equation 2.2		Equation 2.9		Equation 2.10			Equation 2.9		
		Subcategories for reporting year	Area of Forest Land Remaining Forest Land	Average annual above-ground biomass growth	(ha)	Average annual above-ground biomass growth	Ratio of below-ground biomass to above-ground biomass	Average annual biomass growth above- and below-ground	Carbon fraction of dry matter	Annual increase in biomass carbon stocks due to biomass growth	
Initial land use	Land use during reporting year		National statistics or international data sources	(tonnes dm ha ⁻¹ yr ⁻¹)	Tables	(tonnes dm ha ⁻¹ yr ⁻¹)	m ³ /ha.ano	(tonnes bg dm (tonne ag dm) ⁻¹)	(tonnes dm ha ⁻¹ yr ⁻¹)	[tonnes C (tonne dm) ⁻¹]	(tonnes C yr ⁻¹)
				4.9, 4.10 and 4.12							
			A	GW = BCEF * IV	BCEF	IV		Rts	G _{TOTAL}	CF	ΔC _G
		1. Outros Carvalhos	404,24	2.610	0,9	2,9		0,327	3.463	0,47	658,034
		2. Eucalipto	6430,97	9.954	0,63	15,8		0,28	12.741	0,47	38510,747
		4. Pinheiro Bravo	223,18	5.544	0,528	10,5		0,29	7.152	0,51	814,026
		6. Sobreiro	0	0,743	1,239	0,6		0,3	0,966	0,47	0,000
		7. Invasoras	19,02	2.393	0,825	2,9		0,23	2.943	0,47	26,307
		8. Outras Folhosas	1051,6	2.393	0,825	2,9		0,23	2.943	0,48	1485,419
		9. Outras Resinosas	1,16	2.660	0,532	5		0,29	3.431	0,51	2.030
		10. Pinheiro Manso	0	6.530	1,166	5,6		0,29	8.423	0,51	0,000
		11. Castanheiro	0,35	3.234	0,446	7,25		0,3	4.204	0,47	0,691
FL	FL	Total	8130,52								41497,255

Apêndice 2– Folha de cálculo IPCC - Florestas que permanecem florestas (Perdas)

Sector		Agriculture, Forestry and Other Land Use									
Category		Forest Land Remaining Forest Land: Annual increase in carbon stocks in biomass (includes above-ground and below-ground biomass)									
Category code		3B1a									
Sheet		1 of 4									
Equation	Equation 2.2	Equation 2.9	Average annual above-ground biomass growth	BCEF	IV	R	Average annual biomass growth above- and below-ground	Carbon fraction of dry matter	Equation 2.9	Annual increase in biomass carbon stocks due to biomass growth	
Land-use category	Subcategories for reporting year	Area of Forest Land Remaining Forest Land	(tonnes dm ha ⁻¹ yr ⁻¹)	GW = BCEF * Iv	0,725	zero (0) or Table 4.4	(tonnes dm ha ⁻¹ yr ⁻¹)	[tonnes C (tonne dm) ⁻¹]	Equation 2.9	(tonnes C yr ⁻¹)	
Initial land use		(ha)	Tables	4.9, 4.10 and 4.12							
		National statistics or international data sources									
		A	GW = BCEF * Iv	BCEF	IV	R	G _{TOTAL}	CF	ΔC _G		
	1. Outros Carvalhos	404,24	0,6525	0,9	0,725	0,3	0,84825	0,47	161,161		
	2. Eucalipto	6430,97	2,4885	0,63	3,95	0,28	3,18528	0,47	9627,687		
	4. Pinheiro Bravo	223,18	1,386	0,528	2,625	0,29	1,78794	0,51	203,507		
	6. Sobreiro	0	0,18585	1,239	0,15	0,3	0,241605	0,47	0,000		
	7. Invasoras	19,02	0,598125	0,825	0,725	0,23	0,73569375	0,47	6,577		
	8. Outras Folhosas	1051,6	0,598125	0,825	0,725	0,23	0,73569375	0,48	371,355		
	9. Outras Resinosas	1,16	0,665	0,532	1,25	0,29	0,85785	0,51	0,508		
	10. Pinheiro Manso	0	1,6324	1,166	1,4	0,29	2,105796	0,51	0,000		
	11. Castanheiro	0,35	0,808375	0,446	1,813	0,3	1,0508875	0,47	0,173		
FL	FL	8130,52								10370,966	
	Total										

Apêndice 3– Folha de cálculo IPCC – Solo convertido para floresta

Sector		Agriculture, Forestry and Other Land Use								
Category		Land Converted to Forest Land: Annual increase in carbon stocks in biomass (includes above- and below-ground biomass)								
Category code		3B1b								
Sheet		1 of 4								
Equation	Equation 2.2	Equation 2.9	Equation 2.10				Equation 2.9			
Land-use category	Subcategories for reporting year	Area of land Converted to Forest Land	Average annual above-ground biomass growth			Ratio of below-ground biomass to above-ground biomass	Average annual biomass growth above and below-ground	Carbon fraction of dry matter	Annual increase in biomass carbon stocks due to biomass growth	
Initial land use ¹	Land use during reporting year	(ha)	(tonnes dm ha ⁻¹ yr ⁻¹)			[tonnes bg dm (tonne ag dm) ⁻¹]	(tonnes dm ha ⁻¹ yr ⁻¹)	[tonnes C (tonne dm) ⁻¹]	(tonnes C yr ⁻¹)	
		National statistics or international data sources	Tables			2810 (I) or Table 4.4	G _{TOTAL} = G _w * (1+R)	0.5 or Table 4.3	ΔC ₀ = A * G _{TOTAL} * CF	
			4.9, 4.10 and 4.12							
		A	G_w	BCEF	IV	R	G_{TOTAL}	CF	ΔC₀	
CL. 2.Agricultura	FL	1. Outros Carvalhos	45,18	2,61	0,9	2,9	0,327	3,46347	0,47	73,54540006
		2. Eucalpto	71,15	9,954	0,63	15,8	0,28	12,74112	0,47	426,0694234
		4. Pinheiro Bravo	10,55	5,544	0,528	10,5	0,29	7,15176	0,51	38,48004468
		6. Sobreiro	0	0,7434	1,239	0,6	0,3	0,96642	0,47	0
		7. Invasoras	5,25	2,3925	0,825	2,9	0,23	2,942775	0,47	7,261297313
		8. Outras Folhosas	375,61	2,3925	0,825	2,9	0,23	2,942775	0,48	530,5611445
		9. Outras Resinosas	0,52	2,66	0,532	5	0,29	3,4314	0,51	0,91000728
		10. Pinheiro Manso	1,77	6,5296	1,166	5,6	0,29	8,423184	0,51	7,603608197
		11. Castanheiro	13,71	3,2335	0,446	7,25	0,3	4,20355	0,47	27,08641514
Sub-total			523,74							1111,517341
GL. 3.Pastagens	FL	1. Outros Carvalhos	4,58	2,61	0,53	2,9	0,327	3,46347	0,47	7,45465522
		2. Eucalpto	6,56	9,954	0,63	15,8	0,28	12,74112	0,47	39,28342118
		4. Pinheiro Bravo	0,53	5,544	0,528	10,5	0,29	7,15176	0,51	1,933120728
		6. Sobreiro	0	0,7434	1,239	0,6	0,3	0,96642	0,47	0
		7. Invasoras	0	2,3925	0,825	2,9	0,23	2,942775	0,47	0
		8. Outras Folhosas	22,14	2,3925	0,825	2,9	0,23	2,942775	0,48	31,27345848
		9. Outras Resinosas	0	2,66	0,532	5	0,29	3,4314	0,51	0
		10. Pinheiro Manso	0	6,5296	1,166	5,6	0,29	8,423184	0,51	0
		11. Castanheiro	0	3,2335	0,446	7,25	0,3	4,20355	0,47	0
Sub-total			33,81							79,94546591
GL. 6.Matos	FL	1. Outros Carvalhos	17,16	2,61	0,53	2,9	0,327	3,46347	0,47	27,93357824
		2. Eucalpto	264,79	9,954	0,63	15,8	0,28	12,74112	0,47	1585,648947
		4. Pinheiro Bravo	17,53	5,544	0,528	10,5	0,29	7,15176	0,51	63,93887993
		6. Sobreiro	1,9	0,7434	1,239	0,6	0,3	0,96642	0,47	0,86301306
		7. Invasoras	3,95	2,3925	0,825	2,9	0,23	2,942775	0,47	5,463261788
		8. Outras Folhosas	72,88	2,3925	0,825	2,9	0,23	2,942775	0,48	102,9453322
		9. Outras Resinosas	1,25	2,66	0,532	5	0,29	3,4314	0,51	2,1875175
		10. Pinheiro Manso	2,56	6,5296	1,166	5,6	0,29	8,423184	0,51	10,99730903
		11. Castanheiro	0	3,2335	0,446	7,25	0,3	4,20355	0,47	0
Sub-total			382,02							1799,977839
WL. 9.Zonas Humidas (Massas Água)	FL	8. Outras Folhosas	4,03	2,3925	0,825	2,9	0,23	2,942775	0,48	5,69250396
Sub-total			4,03							5,69250396
SL. 1.Artificializados	FL	1. Outros Carvalhos	0,34	2,61	0,53	2,9	0,327	3,46347	0,47	0,553462506
		2. Eucalpto	7,36	9,954	0,63	15,8	0,28	12,74112	0,47	44,0740823
		4. Pinheiro Bravo	1,87	5,544	0,528	10,5	0,29	7,15176	0,51	6,820633512
		6. Sobreiro	0	0,7434	1,239	0,6	0,3	0,96642	0,47	0
		7. Invasoras	0	2,3925	0,825	2,9	0,23	2,942775	0,47	0
		8. Outras Folhosas	4,21	2,3925	0,825	2,9	0,23	2,942775	0,48	5,94675972
		9. Outras Resinosas	0	2,66	0,532	5	0,29	3,4314	0,51	0
		10. Pinheiro Manso	0	6,5296	1,166	5,6	0,29	8,423184	0,51	0
		11. Castanheiro	0	3,2335	0,446	7,25	0,3	4,20355	0,47	0
Sub-total			13,78							57,39493804
OL. Outros usos 7. Macrófitas	FL	1. Outros Carvalhos	2,43	2,61	0,53	2,9	0,327	3,46347	0,47	3,955629087
		2. Eucalpto	137,55	9,954	0,63	15,8	0,28	12,74112	0,47	823,6942963
		4. Pinheiro Bravo	0	5,544	0,528	10,5	0,29	7,15176	0,51	0
		6. Sobreiro	0	0,7434	1,239	0,6	0,3	0,96642	0,47	0
		7. Invasoras	0	2,3925	0,825	2,9	0,23	2,942775	0,47	0
		8. Outras Folhosas	1,43	2,3925	0,825	2,9	0,23	2,942775	0,48	2,01992076
		9. Outras Resinosas	0	2,66	0,532	5	0,29	3,4314	0,51	0
		10. Pinheiro Manso	0	6,5296	1,166	5,6	0,29	8,423184	0,51	0
		11. Castanheiro	0	3,2335	0,446	7,25	0,3	4,20355	0,47	0
Sub-total			141,41							829,6698462
Total			1098,79							3884,198

Apêndice 4 – Folha de cálculo IPCC – Solo agrícola que permanece agrícola

Sector		Agriculture, Forestry and Other Land Use									
Category		Cropland Remaining Cropland: Annual change in carbon stocks in biomass									
Category code		3B2a									
Sheet		1 of 1									
Equation		Equation 2.2					COS e NIR			Equation 2.7 ¹	
Land-use category	Initial land use	Subcategories for reporting year	Area CL_CL ha	Mean Annual Increment (tC/ha.ano) NIR, table 6-16		Annual growth of perennial woody biomass ² (tonnes C.yr ⁻¹) National estimates, or Table 5.1	Annual carbon stock removed (removal or harvest) ³ (tonnes C.yr ⁻¹) National estimates, or Table 5.1	Annual change in carbon stocks in biomass ⁴ (tonnes C.yr ⁻¹) $\Delta C_B = \Delta C_G - \Delta C_L$			
				AGB	BGB				ΔC_G	ΔC_L	ΔC_B
CL	CL	1. Culturas temporárias de sequeiro e regadio	4608,16	0,31	0,31	2857,0592	2857,0592	0			
		2. Vinhas	864,08	0,17	0,14	267,8648	85,716736	182,148064			
		3. Pomares	309,78	0,42	0,07	151,7922	48,573504	103,218696			
		4. Olivais	2,83	0,39	0,06	1,2735	0,40752	0,86598			
		5. Mosaicos culturais e parcelares complexos	256,78			0	0	0			
		6. Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	403,39			0	0	0			
		7. Agricultura Protegida e viveiros	67,04			0	0	0			
Total			6512,06			3277,9897	134,69776	286,23274			

Apêndice 5 – Folha de cálculo IPCC – Solo convertido para agrícola

Sector		Agriculture, Forestry and Other Land Use						
Category		Land Converted to Cropland: Annual change in carbon stocks in biomass						
Category code		3B2b						
Sheet		1 of 1						
Equation		Equation 2.2		Equation 2.16		Equation 2.15, 2.16		
Land-use category		Annual area of Land Converted to Cropland	Biomass stocks before the conversion	Carbon fraction of dry matter	Annual biomass carbon growth ²	Annual loss of biomass carbon ³	Annual change in carbon stocks in biomass	
Initial land use ¹	Land use during reporting year	(ha)	(tonnes C yr ⁻¹)	(tonnes C (tonne dm ³) ⁻¹)	(tonnes C yr ⁻¹)	(tonnes C yr ⁻¹)	(tonnes C yr ⁻¹)	
		Subcategories for reporting year		Table 5.8	0.5	National estimates, or Table 5.9	National estimates, or Table 5.1	
		$\Delta A_{TO, OTHERS}$	B_{BEFORE}	CF	ΔC_G	ΔC_L	$\Delta C_B = \Delta C_G + ((0 - B_{BEFORE}) * \Delta A_{TO, OTHERS}) * CF - \Delta C_L$	
FL 5. Florestas	CL	1. Culturas temporárias de sequeiro e regadio	80,12	225,9850644				-225,9850644
		2. Vinhas	67,02	258,653194		20,7762	6,648384	-244,525378
		3. Pomares	50,54	204,3436008		24,7646	7,924672	-187,5036728
		4. Oliveais	0,97	5,808676608		0,4365	0,13968	-5,511856608
		5. Mosaicos culturais parcelares complexos	8,97	32,87826707				-32,87826707
		6. Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	12,08	42,15616229				-42,15616229
		7. Agricultura protegida e viveiros	3,72	5,66386895				-5,66386895
		Sub-total	223,42	775,4886522		45,9773	14,712736	-744,2240882
GL 3. Pastagens	CL	1. Culturas temporárias de sequeiro e regadio	144,97					
		2. Vinhas	11,73	0		3,6363	1,163616	2,472684
		3. Pomares	19,99	0		9,7951	3,134432	6,660668
		4. Oliveais	0	0		0	0	0
		5. Mosaicos culturais parcelares complexos	9,62					
		6. Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	6,57					
		7. Agricultura protegida e viveiros	0					
		Sub-total	192,88				4,298048	9,133352
GL 6. Matos	CL	1. Culturas temporárias de sequeiro e regadio	41,1					
		2. Vinhas	11,55	0		3,5805	1,14576	2,43474
		3. Pomares	3,49			1,7101	0,547232	1,162868
		4. Oliveais	0	0		0	0	0
		5. Mosaicos culturais parcelares complexos	1,18					
		6. Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	4					
		7. Agricultura protegida e viveiros	0					
		Sub-total	61,32				1,692992	3,597608
WL Massa de água 9.	CL	1. Culturas temporárias de sequeiro e regadio	0,79					
Sub-total	0,79						0	
SL 1. Artificiais	CL	1. Culturas temporárias de sequeiro e regadio	20,43					
		2. Vinhas	3,45			1,0695	0,34224	0,72726
		3. Pomares	6,14			3,0086	0,962752	2,045848
		4. Oliveais	0,1			0,045	0,0144	0,0306
		5. Mosaicos culturais parcelares complexos	12,07					
		6. Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	2,87					
		7. Agricultura protegida e viveiros	0,05					
		Sub-total	45,11				1,319392	2,803708
OL Outros usos 7. Descobertos	CL	1. Culturas temporárias de sequeiro e regadio	1,05					
		2. Vinhas	0,77			0,2387	0,076384	0,162316
		Sub-total	1,82				0,076384	0,162316
Total							-728,6271042	

¹ If data by initial land use are not available, use only "non-CL" in this column.

² Biomass carbon growth (ΔC_G) is equal to the area of perennial crop that is not mature times biomass accumulation rate (G) using a national estimate or data from Table 5.9.

³ Annual carbon stock in biomass removed (ΔC_L) is equal to the area of perennial crops that is annually harvested times the area-specific carbon stock value that is lost (L) using a national estimate or biomass carbon loss data from Table 5.1.

⁴ Annual

Apêndice 6 – Folha de cálculo IPCC – Solo convertido para pastagens e matos

Sector		Agriculture, Forestry and Other Land Use						
Category		Land Converted to Grassland: Annual change in carbon stocks in biomass						
Category code		3B3b						
Sheet		1 of 1						
Equation		Equation 2.2		Equation 2.16				
Land-use category		Subcategories for reporting year	Type of vegetation ²	Annual area of Land Converted to Grassland	Biomass carbon stocks before the conversion	Biomass carbon stocks after the conversion	Stock Difference	
Initial land use ¹	Land use during reporting year			(ha)	(tonnes C yr ⁻¹)	(tonnes C yr ⁻¹)	(tonnes C yr ⁻¹)	
				0 or Table 6.4	(see section 6.3.1.2)	After-Before		
				$\Delta A_{TO OTHERS}$	B_{BEFORE}	B_{AFTER}	Gain/Loss	
FL 5. Florestas	GL	1. Outros Carvalhos	Herbaceous (Pastagens)	0			0	
			Woody (Matos)	10,96	17,84102666	7,5624	-10,2786267	
		Sub-total			10,96	17,84102666	7,5624	-10,2786267
		2. Eucalipto	Herbaceous (Pastagens)	0				0
			Woody (Matos)	49,42	295,9430907	34,0998	-261,843291	
		Sub-total			49,42	295,9430907	34,0998	-261,843291
		4. Pinheiro	Herbaceous (Pastagens)	0				0
			Woody (Matos)	22,67	82,68650359	15,6423	-67,0442036	
		Sub-total			22,67	82,68650359	15,6423	-67,0442036
		8. Outras Folhosas	Herbaceous (Pastagens)	0				0
Woody (Matos)	24,68		34,86128976	17,0292	-17,8320898			
Sub-total			24,68	34,86128976	17,0292	-17,8320898		
9. Outras Resinosas	Herbaceous (Pastagens)	0				0		
	Woody (Matos)	0	0	0	0	0		
Sub-total			0	0	0	0		
Total FL_GL				107,73	431,3319107	74,3337	-356,998211	
CL. 2. Agrícola	GL	1. Culturas temporárias de sequeiro e regadio	Herbaceous	7,14	0	10,4958	10,4958	
			Woody	118,12	0	81,5028	81,5028	
		Sub-total			125,26	0	91,9986	91,9986
		2. Vinhas	Herbaceous	7,51	2,3281	11,0397	8,7116	
			Woody	26,87	8,3297	18,5403	10,2106	
		Sub-total			34,38	10,6578	29,58	18,9222
		3. Pomares	Herbaceous	0	0	0	0	
			Woody	7,58	3,7142	5,2302	1,516	
		Sub-total			7,58	3,7142	5,2302	1,516
		5. Mosaicos culturais e parcelares complexos	Herbaceous	3,35	0	4,9245	4,9245	
Woody	29,47		0	20,3343	20,3343			
Sub-total			32,82	0	25,2588	25,2588		
6. Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	Herbaceous	0,13	0	0,1911	0,1911			
	Woody	70,82	0	48,8658	48,8658			
Sub-total			70,95	0	49,0569	49,0569		
Total CL_GL				270,99	14,372	201,1245	186,7525	
ST. 1. Artificializados	GL	1. Artificializados	Herbaceous	0	0	0	0	
			Woody	28,97	0	19,9893	19,9893	
		Sub-total			28,97	0	19,9893	19,9893
Total ST_GL				28,97	0	19,9893	19,9893	
OL. 7. Descoberto	GL	2. Descobertos	Herbaceous	0	0	0	0	
			Woody	191,61	0	132,2109	132,2109	
		Sub-total			191,61	0	132,2109	132,2109
Total ST_GL				191,61	0	132,2109	132,2109	
Total Geral				599,3		427,6584	-18,046	

Apêndice 7 – Folha de cálculo IPCC – Solo convertido para artificializados

Sector		Agriculture, Forestry and Other Land Use					
Category		Land Converted to Settlements: Annual change in carbon stocks in biomass					
Category code		3B5b					
Sheet		1 of 1					
Equation		Eq. 2.2	Equation 2.16		Equation 2.15, 2.16		
Land-use category		Subcategories for reporting year	Annual area of Land Converted to Settlements	Carbon stocks before the conversion	Annual biomass carbon growth	Annual loss of biomass carbon	Annual change in carbon stocks in biomass
Initial land use ¹	Land use during reporting year		(ha)	(tonnes dm ha ⁻¹)	(tonnes C yr ⁻¹)	(tonnes C yr ⁻¹)	(tonnes C yr ⁻¹)
				Table 5.8	National estimates	National estimates	$\Delta C_B = \Delta C_G + ((0 - B_{BEFORE}) * \Delta A_{TO_OTHERS} * CF) - \Delta C_L$
			ΔA_{TO_OTHERS}	B_{BEFORE}	ΔC_G	ΔC_L	ΔC_B
FL	SL	Outros Carvalhos	14,86	24,190	0	0	-24,18956717
		Eucalipto	197,49	1182,635	0	0	-1182,634581
		Outras Folhosas	56,94	80,430	0	0	-80,42957208
		P. Bravo	101,52	370,284	0	0	-370,2838044
		Resinosas	0	0,000	0	0	0
Sub-total			370,81	1657,538	0	0	-1657,537524
CL	SL	Vinhas	37,49	11,622	0	0	-11,6219
		Pomares	8,62	4,224	0	0	-4,2238
Sub-total				15,846	0	0	-15,8457
GL	SL	(a)					
		(b)					
Sub-total							
WL	SL	(a)					
		(b)					
Sub-total							
OL	SL	(a)					
		(b)					
Sub-total							
Total							-1673,383224

¹ If data by initial land use are not available, use only "non-SL" in this column.