



**INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO**

Sistemas de Produção Circulares no Alto Minho:

Avaliação e gestão integrada de resíduos orgânicos em Agricultura Biológica

Dissertação de Mestrado

Agricultura Biológica

Helder Tiago Alves Amorim

Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, 2024



**INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO**

Helder Tiago Alves Amorim

Sistemas de Produção Circulares no Alto Minho:

Avaliação e gestão integrada de resíduos orgânicos em Agricultura Biológica

Dissertação de Mestrado

Agricultura Biológica

Trabalho efetuado sob orientação de:

Professor Doutor Joaquim Mamede Alonso

Professora Doutora Ana Cristina Rodrigues

Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, 2024

*As doutrinas expressas neste
documento são da exclusiva
responsabilidade do autor*

*“Land, then, is not merely soil;
it is a fountain of energy flowing
through a circuit of soils, plants, and animals.”*

Aldo Leopold

ÍNDICE

Agradecimentos	viii
Resumo	ix
Abstract.....	x
Índice de Quadros	xi
Índice de Figuras	xiii
Acrónimos e Abreviaturas	xv
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento e apresentação do projeto	1
1.2. Objetivos da dissertação	3
1.3. Organização da dissertação	3
2. A Sustentabilidade, a Bioeconomia Circular e Sistemas de Produção Agrícolas Circulares.....	5
2.1. A Sustentabilidade, bioeconomia circular e a inteligência em espaços rurais.....	5
2.1.1. A habitabilidade do planeta Terra e os sistemas agroalimentares.....	5
2.1.2. A Bioeconomia Circular	6
2.1.3. Conceito de biorrefinaria na gestão de resíduos orgânicos	11
2.1.4. A inovação social, dinamização e competitividade económica regional através da bioeconomia circular.....	12
2.1.5. A inteligência em espaços rurais.....	13
2.2. Enquadramento legal e estratégico	15
2.3. Os sistemas de produção agrícolas e biocircularidade	18
2.3.1. A circularidade na agricultura.....	18
2.3.2. A agricultura biológica e a bioeconomia circular	21
2.3.3. Tipologias de resíduos orgânicos.....	24

2.3.4. Tecnologias de tratamento e valorização de resíduos orgânicos	28
2.3.5. Critérios de qualidade para a aplicação de composto ou digerido na agricultura biológica	30
3. Metodologia.....	32
3.1. Enquadramento, objetivos e desenvolvimento metodológico	33
3.1.1. Recolha e processamento de dados espacialmente explícitos	34
3.1.2. Área de estudo	35
3.2. Avaliação das áreas com aptidão técnico-económica para conversão em MPB.....	37
3.2.1. Aptidão natural	41
3.2.2. Esforço e facilidade de conversão em MPB	42
3.2.3. Distância e acesso aos mercados	43
3.2.4. Ponderação dos critérios através da AHP	43
3.2.5. Normalização dos critérios	44
3.2.6. A carta de aptidão técnico-económica para conversão em MPB.....	44
3.3. Identificação, avaliação e distribuição da quantidade e a explorabilidade de subprodutos e resíduos orgânicos	45
3.3.1. Resíduos de origem agroflorestal	49
3.3.2. Resíduos de origem industrial	49
3.3.3. Resíduos de origem urbana	50
3.4. Seleção de resíduos e subprodutos que possam ser utilizados como matérias fertilizantes em AB	54
3.5. Otimização da localização de áreas com aptidão para conversão em MPB em função da disponibilidade de resíduos orgânicos para valorização em agricultura biológica.....	55
3.5.1. Identificação de operadores de gestão de biorresíduos e produtores de composto orgânico	55
3.5.2. Potencial técnico para recolha seletiva de biorresíduos	56
3.5.3. Alocação dos biorresíduos por OGR	58

3.5.4. Acessibilidade de composto orgânico para Agricultura Biológica	59
3.5.5. Aptidão para conversão em MPB em função da disponibilidade de composto orgânico	60
4. Apresentação e Análise de Resultados	61
4.1. Avaliação das áreas com aptidão técnico-económica para conversão em MPB.....	61
4.1.1. Aptidão natural	61
4.1.2. Esforço e facilidade de conversão em MPB.....	63
4.1.3. Distância e acesso aos mercados	66
4.1.5. A Carta de aptidão técnico-económica para conversão em MPB.....	68
4.2. Identificação, avaliação e distribuição de subprodutos e resíduos orgânicos.....	70
4.2.1. Resíduos de origem agroflorestal	70
4.2.2. Resíduos de origem industrial	73
4.2.3. Resíduos de origem urbana	78
4.3. Seleção de resíduos e subprodutos que possam ser utilizados como matérias fertilizantes em AB	87
4.4. Otimização da localização de áreas com aptidão para conversão em MPB em função da disponibilidade de resíduos orgânicos para valorização em agricultura biológica.....	88
4.4.1. Potencial técnico para recolha seletiva de biorresíduos e a sua alocação por OGR.....	88
4.4.2. Acessibilidade de composto orgânico para MPB	92
4.4.3. Aptidão para conversão em MPB em função da acessibilidade de composto orgânico	94
5. Considerações Finais	97
6. Referências Bibliográficas.....	100
Anexos.....	108

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, queria agradecer profundamente ao professor Joaquim Alonso, por me ter desafiado para a elaboração deste projeto. A sua vasta experiência, visão e sabedoria foram inspiradoras e determinantes, bem como toda a sua paciência, compreensão e disponibilidade mesmo em alturas em que o tempo e o trabalho são inversamente proporcionais. Um sincero e enorme obrigado por tudo!

À professora Ana Cristina Rodrigues por toda a simpatia e apoio sempre que requisitada, mas sobretudo pela motivação e positividade transmitidas que foram fulcrais durante este projeto.

Não menos importante foi todo o apoio técnico garantido pelo pessoal do CIGESA, por disponibilizarem tudo o que necessitei ao longo deste trabalho e pela cumplicidade adquirida que se transformou em amizade. Ao Eng.º Diogo Gonçalves pelo companheirismo e boa disposição e em especial ao Eng.º Renato Silva, o qual considero como o meu mentor técnico. Todo o tempo e experiência que me foram dedicados, aliados à boa disposição valeram ouro. Muito obrigado e o muito sucesso para vocês!

Ao pessoal do MAB14 que deu comigo os primeiros passos nesta nobre casa, em especial à Ana Sousa, Marco Fernandes e Sandra Coelho por todos os bons momentos que partilhamos e os que ainda iremos partilhar!

À professora Isabel Mourão, diretora do MAB, que embora não tenha feito parte diretamente desta investigação, foi uma fonte de apoio e motivação. A sua genuína preocupação para comigo foi marcante e a qual nunca esquecerei!

Aos meus pais, avós, irmão, tia e à Lurdes! As pessoas mais importantes que tenho na vida e porque sem vocês nada disto teria sido possível! E ainda um agradecimento especial para a minha mãe e avó por todo o apoio incondicional e por acreditarem sempre em mim!

RESUMO

Os atuais desafios sociais implicam reunir e mobilizar conhecimento crítico para implementação de sistemas de produção sustentáveis e circulares. Neste quadro importa equacionar a criação de sinergias entre o planeamento e as estratégias de aumento das áreas em modo de produção biológica (MPB) com os processos de tratamento e valorização de resíduos orgânicos à escala regional/local. O desenvolvimento de atividades e sistemas agrícolas em MPB devem ser incentivados em locais com condições naturais adequadas, com esforços de conversão e custos de produção baixos, próximos de locais de consumo e com acessibilidade a fertilizantes orgânicos obtidos por valorização de resíduos orgânicos. Neste contexto, desenvolveram-se modelos multicritério e multiobjectivo espacialmente explícitos que garantem soluções inteligentes e efetivas de agricultura biológica (AB) e biocircularidade local. Os modelos experimentam-se para o distrito de Viana do Castelo (NW Portugal) como validação de uma abordagem transferível para outros territórios. Assim, as opções e os processos metodológicos visam: a (i) avaliação das áreas com aptidão técnico-económica para conversão em MPB, a (ii) identificação, avaliação e quantificação da distribuição e a explorabilidade de subprodutos e resíduos orgânicos e a (iii) otimização da localização de áreas com aptidão técnico-económica para conversão em MPB em função da acessibilidade a matérias fertilizantes.

Os resultados demonstram que a integração, de acordo com critérios de qualidade estabelecidos, de composto ou digerido resultantes de processos de tratamento e valorização de resíduos orgânicos, por compostagem ou digestão anaeróbia, na AB pode melhorar significativamente a sustentabilidade dos sistemas de produção locais. Identificaram-se áreas prioritárias para a conversão em MPB, com base na disponibilidade de resíduos orgânicos e com condições técnico-económicas favoráveis. A concentração dos resíduos orgânicos, em particular dos biorresíduos, destaca áreas com maior aptidão para conversão para o MPB junto dos principais núcleos urbanos.

Palavras-chave: Agricultura Biológica; Resíduos Orgânicos; Bioeconomia Circular; Biorresíduos; Sistemas de Informação Geográfica; Análise Multicritério

ABSTRACT

The current societal challenges involve gathering and mobilization of critical knowledge for the implementation of sustainable and circular production systems. In this context, it is important to consider creating synergies between planning and strategies to increase areas under organic production with processes for the treatment and valorization of organic waste at a regional/local scale. The development of activities and agricultural systems under organic production should be encouraged in locations with suitable natural conditions, low conversion efforts and production costs, close to consumption sites and with accessibility to organic fertilizers obtained from organic waste valorization. In this context, spatially explicit multicriteria and multi-objective models have been developed to ensure smart and effective solutions for organic agriculture (OA) and local biocircularity. These models are tested for the district of Viana do Castelo (NW Portugal) as validation of an approach transferable to other territories. Thus, the options and methodological processes aim to: (i) assess areas with technical-economic suitability for conversion into organic production, (ii) identify, assess, and quantify the distribution and exploitability of by-products and organic waste, and (iii) optimize the location of areas with technical-economic suitability for conversion into organic production based on accessibility to fertilizing materials.

The results demonstrate that the integration, according to the established quality criteria, of compost or digestate resulting from organic waste treatment and valorization processes, through composting or anaerobic digestion, in OA can significantly improve the sustainability of local production systems. Priority areas for conversion into organic production have been identified, based on the availability of organic waste and with favorable technical-economic conditions. The concentration of organic waste, particularly biowaste, highlights areas with greater suitability for conversion to organic production near major urban centers.

Keywords: Organic Agriculture; Organic Waste; Circular Bioeconomy; Biowaste; Geographic Information Systems; Multicriteria Analysis

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3. 1 – <i>Software</i> utilizado para processamento dos dados.....	34
Quadro 3. 2 – Critérios utilizados na cartografia de aptidão	39
Quadro 3. 3 – Restrições utilizadas no modelo multicritério	40
Quadro 3. 4 – Classes de aptidão atribuídas e sua reclassificação	45
Quadro 3. 5 – Caracterização de diversas tipologias de resíduos orgânicos por código LER	47
Quadro 3. 6 – Captações de biorresíduos por SGRU	53
Quadro 3. 7 – Relação entre o código LER e as matérias-primas autorizadas em AB como fertilizantes ou no fabrico de fertilizantes comerciais (Comissão Europeia, 2021).	54
Quadro 3. 8 – Operadores e instalações de gestão de resíduos considerados	56
Quadro 3. 9 – Critérios usados na análise de acessibilidade	59
Quadro 3. 10 – Matriz de relação entre a aptidão para a conversão em MPB e a acessibilidade a unidades de produção de composto.....	60
Quadro 4. 1 – Distribuição percentual das classes de aptidão técnico-económica para a conversão em MPB.....	69
Quadro 4. 2 – Atividades económicas de potenciais geradores de resíduos orgânicos de origem agroflorestal.....	70
Quadro 4. 3 – Atividades económicas de potenciais geradores de resíduos orgânicos de origem industrial agroalimentar	73
Quadro 4. 4 – Atividades económicas de potenciais geradores de resíduos orgânicos de origem industrial florestal.....	76
Quadro 4. 5 – Atividades económicas de potenciais geradores de resíduos alimentares de origem urbana.....	78
Quadro 4. 6 – Equipamentos e serviços educativos potenciais geradores de resíduos alimentares.....	80
Quadro 4. 7 -Rede de serviços e equipamentos sociais potenciais geradores de resíduos alimentares.....	81
Quadro 4. 8 – Fontes de potenciais geradores de resíduos verdes de origem urbana	83
Quadro 4. 9 – Entidades gestoras de ETAR com produção de lamas no Alto Minho.....	83

Quadro 4. 10 – Distribuição percentual e quantidade potencial de produção de biorresíduos (t/ano)	87
Quadro 4. 11 – Resultados dos pressupostos para o cálculo do potencial técnico para a recolha seletiva de biorresíduos.....	90
Quadro 4. 12 – Resultados da alocação dos biorresíduos recolhidos seletivamente por OGR	91
Quadro 4. 13 – Distribuição percentual dos critérios utilizados na análise de acessibilidade a composto orgânico.	93
Quadro 4. 14 – Distribuição percentual da acessibilidade de composto orgânico para a AB	94
Quadro 4. 15 - Distribuição percentual das classes de aptidão técnico-económica para a conversão em MPB em função da facilidade de acesso a composto orgânico.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 – Perspetivas da bioeconomia circular em relação à bioeconomia e à economia circular (Stegmann et al., 2020).....	8
Figura 2. 2 – Duas interpretações comuns sobre a utilização de recursos em cascata (Stegmann et al., 2020).....	8
Figura 2. 3 – Pirâmide de valor de recursos de base biológica (Stegmann et al., 2020).....	9
Figura 2. 4 – Bioeconomia Circular e os seus elementos (Stegmann et al., 2020).	10
Figura 2. 6 – Matérias-primas e produtos associados às biorrefinarias (BIC, 2017)	12
Figura 2. 5 – Circularidade no sistema agroalimentar (Van Zanten et al., 2019).....	20
Figura 3. 1 – Fluxograma metodológico da investigação.....	33
Figura 3. 2 – Enquadramento territorial da área de estudo.....	35
Figura 3. 3 - Caracterização física dos RU produzidos na Valorminho. Adaptado de (APA, 2022).....	52
Figura 3. 4 – Caracterização física dos RU produzidos na Resulima. Adaptado de (APA, 2022).....	52
Figura 4. 1 – Critérios considerados e avaliação da cartografia de aptidão natural. A) Tipos de Solos; B) Risco de Erosão; C) Pedregosidade; D) pH; E) CTC; F) Declive; G) Exposição Solar; H) Altimetria.....	63
Figura 4. 2 – Critérios que condicionam o esforço e a facilidade de conversão em MPB. A) Intensidade do uso do solo; B) Esforço de transformação da terra; C) Distância a explorações de gado sem terra com produção de chorume	65
Figura 4. 3 – Critérios de condicionamento técnico-legal à conversão em MPB. A) Tipos de solos; B) Altimetria; C) Uso e ocupação do solo (COS2018); D) Parcelas e ocupações do solo (iSIP2021); E) Distância à rede viária; F) Distância aos acessos de autoestradas e similares.....	66
Figura 4. 4 – Critérios que condicionam a distância e acesso aos mercados. A) Distância a todas as vias de comunicação excluindo autoestradas e similares; B) Distância aos acessos de autoestradas e similares; C) Distância aos mercados municipais, lojas de produtos biológicos e produtores biológicos com venda no local.....	68
Figura 4. 5 – Carta de aptidão técnico-económica para conversão em MPB	69

Figura 4. 6 – Distribuição espacial dos resíduos orgânicos de origem agroflorestal	72
Figura 4. 7 – Distribuição espacial dos resíduos orgânicos de origem industrial agroalimentar	75
Figura 4. 8 – Distribuição espacial dos resíduos orgânicos de origem industrial florestal .	77
Figura 4. 9 – Distribuição espacial dos resíduos alimentares de origem urbana.....	79
Figura 4. 10 – Distribuição espacial de equipamentos e serviços educativos (A) e serviços e equipamentos sociais (B) potenciais geradores de resíduos alimentares	82
Figura 4. 11 – Distribuição espacial de potenciais fontes de resíduos verdes e de ETAR com produção de lamas	84
Figura 4. 12 – Distribuição espacial do potencial de produção de biorresíduos	86
Figura 4. 13 – Freguesias com maior potencial técnico para recolha seletiva de biorresíduos e distribuição espacial dos OGR considerados. A) Densidade populacional (hab/km ²); B) Área urbana artificial (%); C) Produção diária estimada (kg/dia).....	89
Figura 4. 14 – Alocação dos biorresíduos recolhidos seletivamente por OGR	91
Figura 4. 15 – A) Distância aos OGR; B) Quantidade alocada de biorresíduos por OGR..	92
Figura 4. 16 – Acessibilidade às unidades de produção de composto.....	93
Figura 4. 17 – Carta de aptidão técnico-económica para conversão em MPB em função da facilidade de acesso a composto orgânico	95
Figura 4. 18 – Carta de pormenor da aptidão técnico-económica para conversão em MPB em função da facilidade de acesso a composto orgânico. A) Área periurbana da margem sul de Viana do Castelo; B) Área predominantemente rural nas margens do rio Lima (Ponte de Lima); C) Zona rural de planalto em Paredes de Coura	96

ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

Acrónimo/Abreviatura	Definição
AB	Agricultura Biológica
AdAM	Águas do Alto Minho
AHP	Análise Hierárquica Ponderada
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
AUA	Área Urbana Artificial
BGRI	Base Geográfica de Referenciação de Informação
CAE	Classificação Portuguesa de Atividades Económicas
CCC	Circuitos Curtos de Comercialização
CE	Comissão Europeia
CIM	Comunidade Intermunicipal
COS	Carta de Uso e Ocupação do Solo
CTC	Capacidade de Troca Catiónica
CVRVV	Comissão de Viticultura da Região dos Vinhos
DA	Digestão Anaeróbia
DEM	<i>Digital Elevation Model</i>
DGADR	Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural
DGR	Directiva-Quadro Resíduos
DGT	Direção-Geral do Território
DRAPN	Direção Regional de Agricultura e Pescas do Norte
ESDAC	<i>European Soil Data Centre</i>
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
GEE	Gases com Efeito de Estufa
HORECA	Hotelaria, Restauração, Cafetaria
I&D	Investigação e Desenvolvimento
IFAP	Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas
INE	Instituto Nacional de Estatística
iSIP	Sistema de Identificação Parcelar
LER	Lista Europeia de Resíduos
MPB	Modo de Produção Biológico
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OGR	Organismos de Gestão de Resíduos

Acrónimo/Abreviatura	Definição
ONU	Organização das Nações Unidas
PAC	Política Agrícola Comum
PEE	Pacto Ecológico Europeu
PNPG	Parque Nacional da Peneda-Gerês
PRR	Plano de Recuperação e Resiliência
RARU	Relatório Anual Resíduos Urbanos
RC	Razão de Consistência
RGGR	Regime Geral de Gestão de Resíduos
RSES	Rede de Serviços e Equipamentos Sociais
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RU	Resíduos Urbanos
SAU	Superfície Agrícola Utilizada
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SILOGR	Sistema de Informação de Operadores de Gestão de Resíduos
SITAI	Sistema de Informação Territorial de Administração Interna
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SSDE	Sistemas de Suporte à Decisão Espacial
UE	União Europeia

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento e apresentação do projeto

Os desafios globais de sustentabilidade nomeadamente a poluição, as alterações climáticas, a perda de biodiversidade, pobreza, segurança e soberania energética e alimentar encontram-se intimamente interligados. A experiência de décadas na procura de soluções para tais desafios indica que apenas abordagens holísticas, programáticas e operacionais, que incorporem abordagens e tecnologias disruptivas, integrando vários componentes e ciclos de sistemas naturais e humanos, apresentam eficácia na identificação e planeamento de soluções adequadas. Estas necessidades remetem para a investigação, desenvolvimento e inovação em estudos inter e transdisciplinares (Zuin et al., 2018). Os sistemas e padrões de consumo e produção responsáveis são a chave para alcançar uma sociedade sustentável, que evite o esgotamento dos recursos naturais do planeta, o aquecimento global e a poluição ambiental.

Atualmente, a totalidade do sistema agroalimentar global, incluindo a produção de fertilizantes, é responsável por mais de 30% das emissões globais de gases com efeito de estufa (GEE) (IPCC, 2019; Stubenrauch et al., 2021). Este setor enfrenta vários desafios ambientais e socioeconómicos, como a gestão de resíduos, a dependência e excesso de utilização de fertilizantes sintéticos, a depleção dos solos, diminuição da biodiversidade e a perda de competitividade do setor devido aos custos energéticos. Na última metade do século passado, através da produção agrícola convencional, aumentou-se exponencialmente a produção de alimentos graças ao aumento dos rendimentos agrícolas, melhorando assim o acesso a alimentação (Stubenrauch et al., 2021). No entanto, o desenvolvimento de sistemas agroalimentares sustentáveis e a intensificação inteligente são cada vez mais necessários para alimentar uma população mundial em crescimento

No atual quadro de mudança climática e eventos climáticos extremos, os sistemas agrícolas convencionais parecem afetar negativamente os ecossistemas, pela utilização de fertilizantes minerais/sintéticos e produtos fitofármacos, uso excessivo de água e espécies exóticas ou geneticamente melhoradas, resistência crescente a pesticidas, mas também devido à progressiva escassez global de recursos (Právělie et al., 2021).

Os modos de produção como a Agricultura Biológica (AB) oferecerem uma abordagem alternativa e ambientalmente mais favorável e menos intensiva a nível energético e fatores

de produção externos. Muitas das normativas que regem a certificação em modo de produção biológico (MPB) condicionam ou proíbem o uso de determinadas substâncias sintéticas e incentivam o uso de recursos naturais e locais (Gopinath et al., 2010).

Em contexto agroalimentar, recursos naturais e locais poderão apresentar-se como subprodutos ou resíduos orgânicos provenientes de outros setores, que permitirão alcançar sistemas de produção alimentares circulares, desde que cumpram determinados padrões de qualidade. Numa perspetiva de recuperação e reciclagem de nutrientes, a utilização de produtos resultantes de processos de tratamento e valorização de resíduos orgânicos para fins agronómicos pode fornecer matéria orgânica e nutrientes essenciais ao desenvolvimento das culturas e sobretudo melhorar a fertilidade do solo.

No atual contexto de alterações climáticas, a instabilidade geopolítica e consequentemente económica, empresas nacionais e internacionais, bem como organizações públicas e governamentais começaram a transitar do modelo económico “linear” para uma economia mais “verde”, sustentável, responsável, inovadora e circular, com vista a contribuir para a resolução destes problemas. Uma possível solução multissetorial para mitigar estes problemas inclui uma melhoria na gestão e valorização de resíduos orgânicos. A valorização de resíduos orgânicos é refletida como um contributo crítico para alcançar a segurança energética, a soberania alimentar, o controlo da poluição, a economia de processo, a produção sustentável e o desenvolvimento social.

De acordo com uma das metas estabelecidas na Estratégia “Do Prado ao Prato” da União Europeia (UE), a percentagem de superfície agrícola em MPB deverá atingir 25% da superfície agrícola utilizada (SAU) em cada Estado-Membro até 2030 (Commission, 2020). Por outro lado, no âmbito da Diretiva Resíduos (Diretiva (UE) 2018/851 do Parlamento Europeu e do Conselho), onde se pretende que todos os estados-membros da UE assegurem a recolha seletiva dos biorresíduos, ou a separação e reciclagem na origem dos mesmos até 31 de dezembro de 2023 (Ambiente, 2020), surge a ideia de transpor esta estratégia a outros setores produtores de resíduos orgânicos, conjugando a valorização agronómica destes resíduos orgânicos com áreas agrosilvopastoris com potencial para conversão em MPB.

1.2. Objetivos da dissertação

Esta dissertação apresenta como objetivo principal a otimização da localização de áreas agrosilvopastoris com aptidão para conversão em MPB no Alto Minho, considerando condições naturais e técnico-económicas, bem como a distribuição e valorização de resíduos orgânicos no quadro de promoção de uma Bioeconomia Circular à escala regional e local. Assim, esta investigação visa:

- i. avaliar a aptidão técnico-económica de áreas agrosilvopastoris para conversão em MPB;
- ii. cartografar e quantificar tipologias de resíduos e subprodutos orgânicos na região;
- iii. a seleção de resíduos e subprodutos orgânicos que possam ser utilizados como matérias fertilizantes em AB;
- iv. a quantificação e explorabilidade de resíduos e subprodutos orgânicos autorizados em MPB;
- v. definir/estabelecer sistemas e critérios técnicos para localizar e dimensionar sistemas e processos de recolha de resíduos orgânicos;
- vi. a alocação de resíduos orgânicos no território em função da localização de unidades de tratamento e valorização pré-existentes;
- vii. avaliação técnico-económica para viabilizar a instalação/conversão para o MPB de áreas com condições naturais, proximidade ao mercado e boa acessibilidade a fertilizantes orgânicos.

1.3. Organização da dissertação

Para cumprir estes objetivos o trabalho encontra-se estruturado por:

- I. Depois da introdução, um segundo capítulo de **revisão bibliográfica** com um enquadramento sobre a sustentabilidade, a bioeconomia circular e inteligência em espaços rurais, bem como uma descrição dos sistemas de produção agrícolas biológicos e gestão dos resíduos orgânicos, enquadrados no conceito de circularidade;
- II. no terceiro capítulo apresenta-se a **metodologia** aplicada na definição de áreas com maior potencial para a AB, na cartografia e quantificação dos diferentes fluxos de resíduos orgânicos no Alto Minho e na otimização da localização de áreas com

aptidão para conversão em MPB em função da disponibilidade de resíduos orgânicos para valorização em AB;

- III. um quarto capítulo de **apresentação e análise de resultados**, onde são apresentados, analisados e discutidos os principais resultados deste trabalho, ao nível da aptidão técnico-económica para conversão em MPB e da cartografia e disponibilidade de resíduos orgânicos para valorização em AB;
- IV. por último e no quinto capítulo as **considerações finais**, dificuldades e algumas propostas para uma estratégia regional de bioeconomia circular, na relação dos sistemas agrosilvopastoris com a operação de sistemas de tratamento e valorização de resíduos orgânicos transetoriais para o Alto Minho, bem como perspectivas de trabalho futuro.

2. A SUSTENTABILIDADE, A BIOECONOMIA CIRCULAR E SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLAS CIRCULARES

2.1. A Sustentabilidade, bioeconomia circular e a inteligência em espaços rurais

2.1.1. A habitabilidade do planeta Terra e os sistemas agroalimentares

A pressão sobre o planeta Terra em relação ao consumo de recursos e produção de resíduos tem sido tema de discussão e debate há algumas décadas (Salvador et al., 2022). Apesar de existir apenas um planeta Terra, estima-se que em 2050 o mundo consumirá como se existissem três (Comissão Europeia, 2020). A quantidade e o acesso aos recursos encontram-se condicionados pelas alterações climáticas e a degradação dos solos e dos ecossistemas, associados ao crescimento da população, globalização e urbanização. Estes contextos, implicam procurar novas formas de produzir e consumir que respeitem os ciclos biogeoquímicos naturais e os limites ecológicos do planeta (Comissão Europeia, 2018). O consumo mundial de matérias-primas, como a biomassa, os combustíveis fósseis, os metais e os minerais, deverá duplicar nos próximos quarenta anos (OECD, 2019), prevendo-se que a produção anual de resíduos aumente 70 % até 2050 (Kaza et al., 2018).

O aumento da procura por alimentos desafia a resposta sustentável a essa procura. No conjunto, estima-se que até 2050 será necessário garantir alimentos saudáveis para cerca de 10 bilhões de pessoas produzidos de forma sustentável (Morais et al., 2021). As economias mundiais modernas dependem de um abastecimento contínuo e linear de recursos naturais para produzir bens e serviços, de modo que o consumo contínuo de recursos e energia não renováveis acabará por colocar em risco as gerações vindouras. A agricultura constitui um setor particularmente frágil pela dependência de fertilizantes minerais para a manutenção de rendimentos que satisfaçam a produção alimentar e alimento para animais (Oldfield et al., 2016).

Este crescimento exponencial da população, o desenvolvimento económico e a urbanização originaram uma crise de resíduos orgânicos global (Huang et al., 2021). A maioria das atividades humanas gera resíduos, em particular resíduos orgânicos em quantidades assinaláveis e provenientes de vários setores, principalmente do sector agroalimentar e florestal (Brandão et al., 2021). Segundo o Banco Mundial, a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) deverá atingir 3,4 bilhões de toneladas até 2050 (Bank, 2020). Estatisticamente, são geradas 2,01 bilhões de toneladas de RSU a nível mundial e,

se a tendência atual continuar, serão produzidas cerca de 3,4 bilhões de toneladas de RSU a cada ano até 2050 (Huang et al., 2021). Todos os dias, uma média de 0,74 kg de resíduos é produzida por pessoa no mundo. A maior parte dos RSU recolhidos pelas autarquias é depositada em aterros ou lixeiras, sendo apenas 19% reciclados e 11% destinados a valorização energética. Segundo a Comissão Europeia, 58 milhões de toneladas de RSU foram depositados em aterros em toda a Europa em 2017, sendo que os resíduos orgânicos representam 46% do total de resíduos (Ashokkumar et al., 2022).

A gestão de resíduos sólidos é uma questão crítica, mas muitas vezes negligenciada, para o planeamento urbanístico e territorial sustentável. Embora se notem melhorias e inovações na gestão de resíduos em todo o mundo, este desafio continua a apresentar questões complexas de eficiência, eficácia e distribuição dos custos e impactos sobre diferentes grupos e regiões do planeta.

Por outro lado, é de extrema importância que estas novas abordagens e conceitos de natureza processual ou sistémica transitem do confinamento dos artigos científicos e laboratórios de investigação e desenvolvimento (I&D) para o mundo real. Desde o lançamento dos Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU lançados em 2015 que estes conceitos se tornaram cada vez mais populares nos círculos académicos, investigação, industriais e de governança. Por esta via, é urgente transferir conhecimento à indústria e às empresas de forma a facilitar a operacionalidade no terreno que permita gerar produtos sustentáveis, com elevado valor acrescentado, assentes num modelo económico circular e que sejam comercialmente viáveis (BIC, 2017). Espera-se assim que as inovações tecnológicas, sociais e organizacionais necessárias, alavancadas nos princípios de uma bioeconomia circular restauradora e regenerativa, permitam uma renovação da competitividade na economia global, sustentabilidade ambiental, desenvolvimento económico e geração de emprego para as gerações futuras (Venkatesh, 2022).

2.1.2. A Bioeconomia Circular

Os atuais desafios sociais remetem para uma necessidade urgente para a transição de sistemas lineares para sistemas circulares, através de uma economia transversal a várias cadeias de valor, nomeadamente às que dizem respeito ao setor da bioeconomia.

O conceito de bioeconomia foi apresentado na UE e por quase 50 países e pode ser definido como a “produção de recursos biológicos renováveis e a conversão desses

recursos e fluxos de resíduos e desperdícios em produtos de valor acrescentado, como alimentos, rações, produtos de base biológica e bioenergia” (EuropeanCommission, 2012). Desde então tem surgido um enorme otimismo em relação aos benefícios da bioeconomia (McCormick et al., 2013), considerada inerentemente sustentável (Hetemäki et al., 2017; Pfau et al., 2014) e “circular por natureza” por diversos autores. Porém, poderão existir potenciais impactos negativos (McCormick et al., 2013; Pfau et al., 2014), nomeadamente, um aumento da pressão sobre as massas de água e ecossistemas naturais, competição pelo uso do solo, intensificação agrícola, eutrofização, riscos associados a espécies invasoras e um potencial de redução de emissões de GEE questionável (Hetemäki et al., 2017).

A economia circular visa minimizar a geração de resíduos e manter o valor dos produtos, materiais e recursos pelo maior tempo possível, reduzindo os impactos ambientais num quadro de *trade-offs* ambientais (EuropeanCommission, 2015). Este modelo inclui um sistema económico que visa eliminar o desperdício e garantir o uso contínuo de recursos, através da reutilização, partilha, reparação, restauro e reciclagem de modo a criar um sistema de ciclo fechado reduzindo a geração de resíduos, poluição e emissões de GEE (Geissdoerfer et al., 2017).

Como resposta a estes questões críticas, a versão atualizada do plano estratégico para a bioeconomia da Comissão Europeia refere que *“para ser bem-sucedida, a bioeconomia europeia deve assumir um carácter marcadamente sustentável e circular”* (Comissão Europeia, 2018). Enquanto “renovável” é a palavra-chave na bioeconomia (que tipo de recursos são usados) e a conservação de recursos é a motivação inerente à economia circular (como os recursos são usados) (Sheridan, 2016). A inevitável fusão destes dois conceitos originou o termo “bioeconomia circular”, onde os fluxos secundários de biorrecursos renováveis são integrados de volta à “tecnosfera” (Venkatesh, 2022). A bioeconomia circular surgiu por volta de 2015 e é cada vez mais utilizado em publicações científicas desde 2016 (Stegmann et al., 2020). No entanto, existem na literatura várias perspectivas abrangentes sobre bioeconomia circular em relação à bioeconomia e à economia circular das quais se destacam (Figura 2. 1):

- i. Bioeconomia circular como interseção entre bioeconomia e economia circular;
- ii. Bioeconomia circular como “mais que bioeconomia ou economia circular sozinhas”.

- iii. Bioeconomia como parte integrante da economia circular através da inclusão de recursos biológicos renováveis nos modelos de circularidade industriais, ou, por outras palavras, a bioeconomia circular como aplicação do conceito da economia circular a recursos, produtos e materiais biológicos (Stegmann et al., 2020);

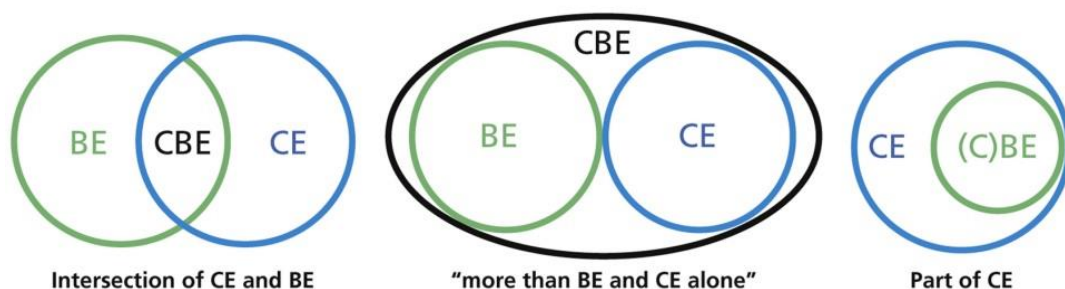


Figura 2. 1 – Perspetivas da bioeconomia circular em relação à bioeconomia e à economia circular (Stegmann et al., 2020).

Mediante estas abordagens o conceito de bioeconomia circular pode ser definido como a valorização sustentável e eficiente de recursos de biomassa em cadeias de produção integradas e multiprodutivas ao mesmo tempo que utiliza e valoriza resíduos e desperdícios de origem biológica, através do seu uso “em cascata”. Tal otimização é focada em aspetos económicos, ambientais e sociais, considerando assim os três pilares da sustentabilidade. As etapas em cascata permitem manter a qualidade dos recursos originando uma pirâmide de valor, respeitando a hierarquia de resíduos sempre que possível e adequado (Stegmann et al., 2020).

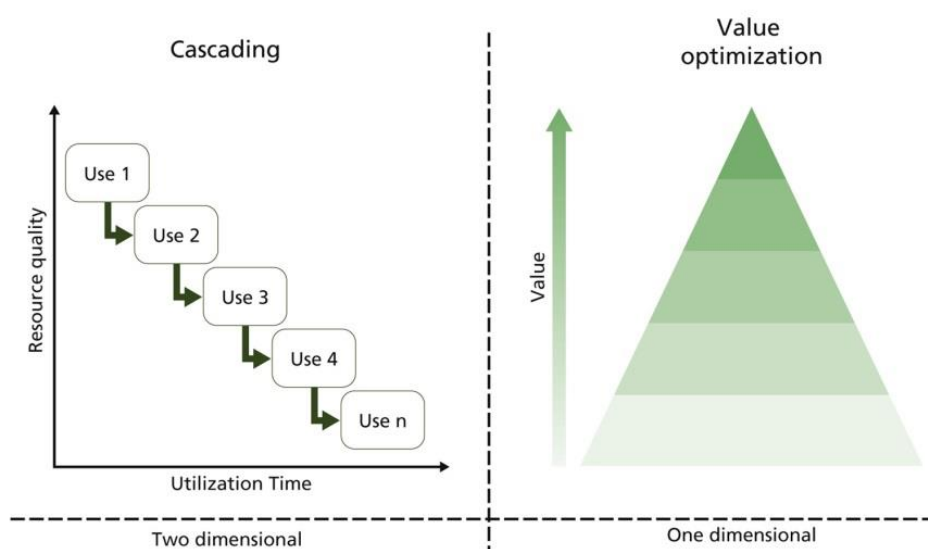


Figura 2. 2 – Duas interpretações comuns sobre a utilização de recursos em cascata (Stegmann et al., 2020).

Idealmente a bioeconomia circular prioriza a valorização material em prol da valorização energética. Por esta via, muitos destes biorrecursos com maior qualidade poderão ser realocados em aplicações de elevado valor. Os recursos de qualidade inferior serão encaminhados para fins energéticos, após as várias etapas de valorização e reutilização em cascata.

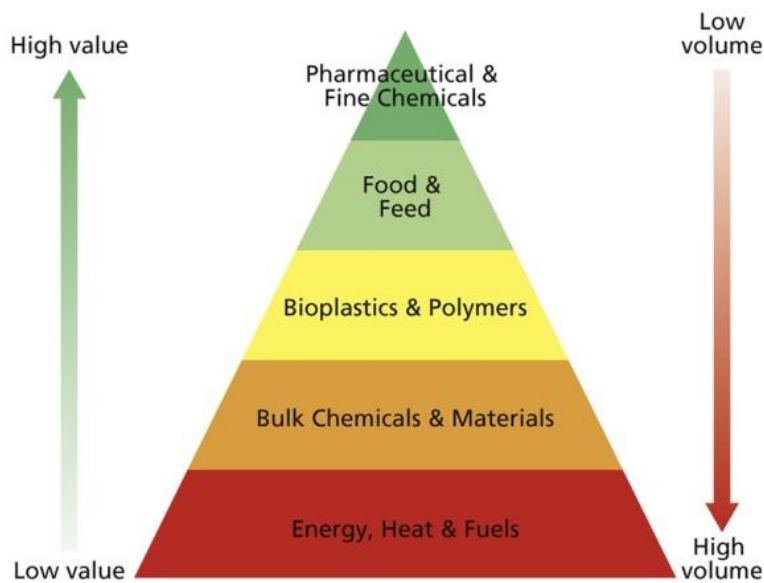


Figura 2. 3 – Pirâmide de valor de recursos de base biológica (Stegmann et al., 2020)

Em teoria, a valorização em cascata seguiria um movimento descendente na pirâmide de valor de biorrecursos, assim como na hierarquia de gestão de resíduos. No entanto, as circunstâncias económicas, ambientais e sociais de cada região irão determinar que opções de valorização mais se adequam caso a caso, podendo uma opção de baixo valor ser preferível a outra de valor superior.

Associado à bioeconomia circular são consideradas várias questões, desde o uso eficiente de resíduos e desperdícios como recursos, biorrefinarias integradas, hierarquia de gestão de resíduo, otimização de valor, uso em cascata dos biorrecursos, reciclagem, design do produto circular e durabilidade do produto. Todos estes elementos se relacionam entre si numa dinâmica circular e sustentável (Figura 2. 4).

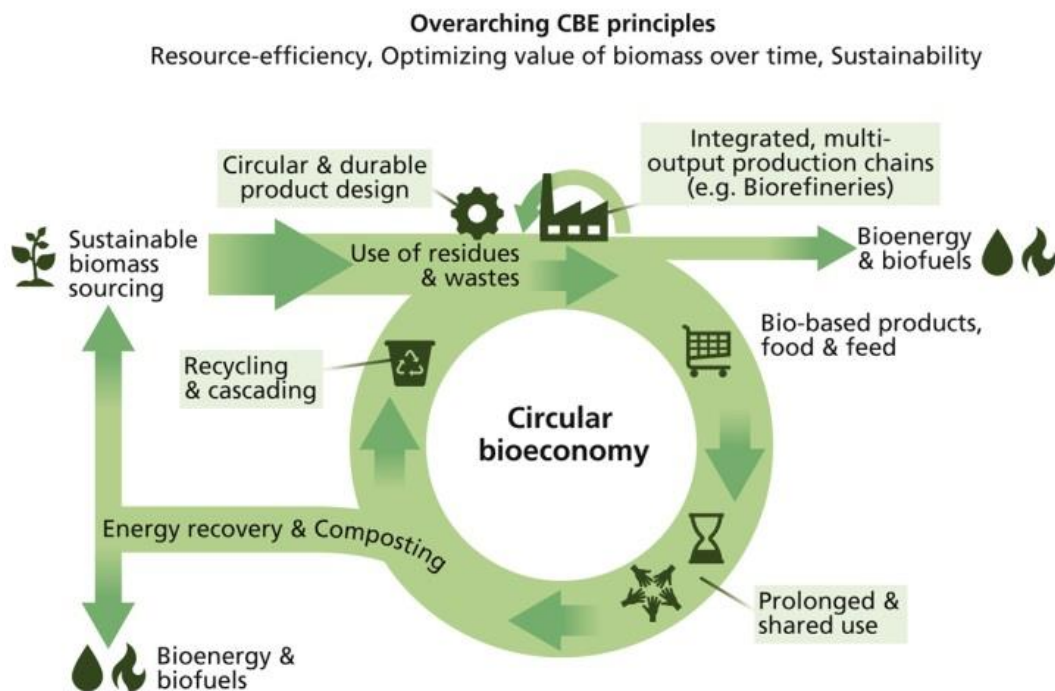


Figura 2. 4 – Bioeconomia Circular e os seus elementos (Stegmann et al., 2020).

Apesar da sua transversalidade, a abordagem da bioeconomia circular é bastante pertinente para o sistema agroalimentar pois este setor contribui significativamente para as emissões de GEE, consumo de água e energia e degradação de ecossistemas naturais. A abordagem permite economizar recursos naturais preciosos e reduzir a quantidade de resíduos, convertendo resíduos e subprodutos agroalimentares em novos produtos de valor agregado, reciclando nutrientes ou mudando para esquemas de produção mais eficientes e hábitos de consumo sustentáveis (Donner et al., 2022).

No entanto, a transição para uma bioeconomia circular no domínio agroalimentar é um desafio. Esta necessita de uma mudança ao nível do sistema com comportamentos mais sustentáveis por parte de todos os intervenientes, novos conhecimentos para desenvolver (bio)tecnologias e processos sustentáveis, inovadores e mais amplos que permitam informar decisores políticos e consumidores. Esta transição também requer modelos de negócios circulares para propor novos produtos e serviços de base biológica que correspondam às expectativas dos consumidores (Donner et al., 2022).

2.1.3. Conceito de biorrefinaria na gestão de resíduos orgânicos

A geração de resíduos orgânicos em volumes significativos representa um desafio crescente para as sociedades modernas. A gestão eficiente desses resíduos é crucial, não apenas devido aos custos associados, mas também por seu impacto no meio ambiente, incluindo a poluição e desequilíbrio de ecossistemas, riscos à saúde humana e depleção de recursos naturais. Além disso, dada a sua natureza putrescível, têm uma pegada de carbono considerável e produzem GEE, contribuindo negativamente para as alterações climáticas. Nesse contexto, o conceito de biorrefinaria surge como uma solução inovadora, promovendo a transformação sustentável de matérias-primas renováveis em produtos de elevado valor acrescentado (Brandão et al., 2021).

As biorrefinarias, operando de maneira similar às refinarias de petróleo, substituem as matérias-primas fósseis por fontes renováveis, nomeadamente, biomassa, que inclui subprodutos e resíduos orgânicos provenientes do setor agroflorestal, indústria agroalimentar, resíduos urbanos, entre outros. Estas instalações geram um espectro diversificado de produtos de base biológica com valor comercial e de forma sustentável, desde compostos bioquímicos, biomateriais, biocombustíveis, rações e alimentos (Brandão et al., 2021).

O conceito de biorrefinaria representa uma evolução significativa em relação às práticas convencionais e problemática atual de gestão de resíduos, marcando uma transição para abordagens mais eficientes, sustentáveis e circulares de gestão e valorização de resíduos orgânicos (Lin et al., 2013; Nizami et al., 2017). De facto, apesar de processos como a compostagem e a digestão anaeróbia se estabelecerem como tecnologias maduras na gestão de resíduos orgânicos, novos processos e tecnologias implementados em biorrefinarias irão permitir a criação de bioprodutos com maior valor acrescentado, alinhando-se assim com os princípios da bioeconomia circular (BIC, 2017). Porém, as tecnologias emergentes requerem uma certa maturação até se destacarem em relação às tecnologias convencionais no que diz respeito ao seu consumo energético, custos operacionais, finalidade, funcionalidade e estabilidade dos seus produtos finais, potencial de mercado, assim como o cumprimento de normas e requisitos legais aplicáveis (Brandão et al., 2021).

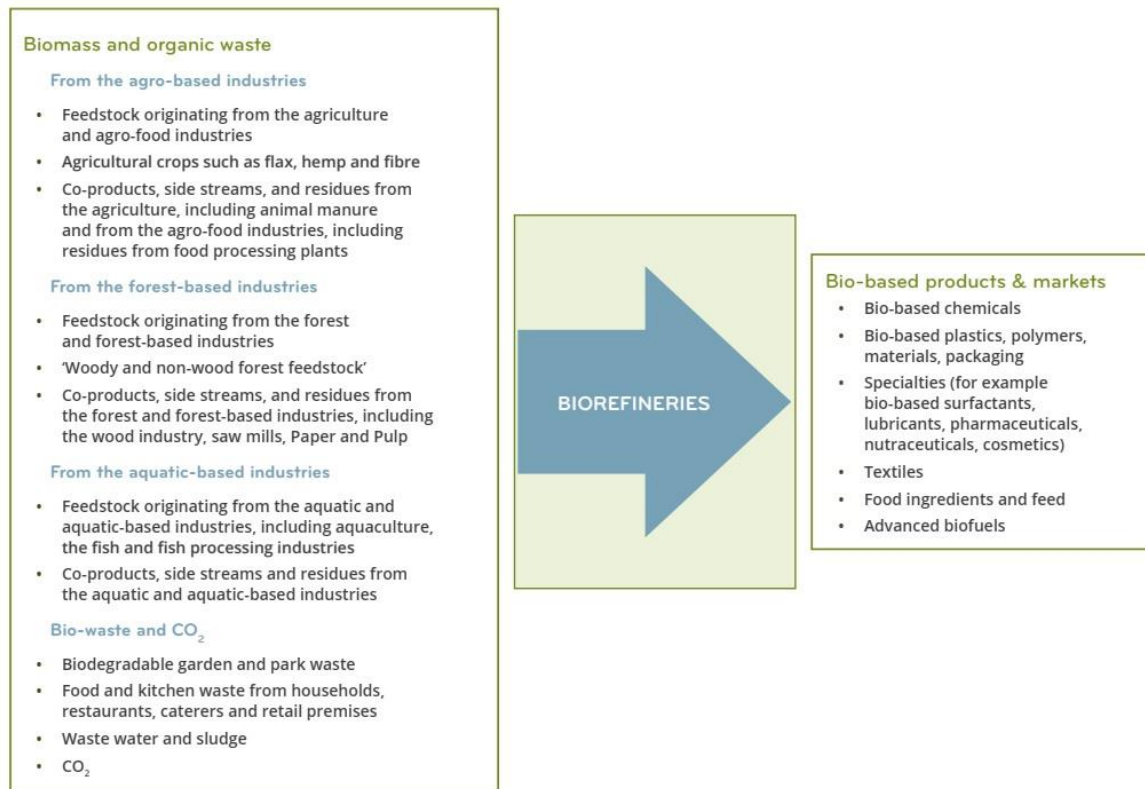


Figura 2. 5 – Matérias-primas e produtos associados às biorrefinarias (BIC, 2017)

2.1.4. A inovação social, dinamização e competitividade económica regional através da bioeconomia circular

A dinâmica sustentável proporcionada pela bioeconomia circular pode fornecer vários benefícios ambientais, agronómicos, sociais e económicos, nomeadamente em crescimento económico, criação de emprego, modernização da agricultura, mitigação dos efeitos das alterações climáticas e desenvolvimento regional. Neste último parâmetro, a bioeconomia circular pode criar oportunidades para o desenvolvimento regional, em zonas urbanas, periurbanas e rurais, através da cooperação entre as diferentes partes interessadas ao longo da cadeia de valor. Isso contrasta com a economia linear baseada em combustíveis fósseis, em que os recursos primários eram frequentemente transferidos para centros industriais com energia centralizada para processamento posterior. O que observamos na nova bioeconomia circular é um repensar das cadeias de valor, ecossistemas e modelos de negócios, com um efeito positivo no desenvolvimento de empregos nas regiões locais (Refsgaard et al., 2021).

Dentro deste novo conceito, as bioindústrias trabalharão em estreita colaboração com diferentes *stakeholders* e redes regionais que usarão recursos locais e poderão contribuir para estratégias regionais de especialização inteligente (BIC, 2017).

A bioeconomia circular possui imenso potencial para o desenvolvimento regional, pois os biorrecursos, sejam eles terrestres ou marítimos, estão amplamente distribuídos em áreas rurais e muitas vezes remotas, onde as fontes alternativas de subsistência geralmente são escassas. Além disso, capitalizar os diferentes tipos de recursos biológicos oferece um novo alvorecer para as economias rurais, pois novos produtos e serviços de base biológica permitem uma nova abordagem de habilidades, empregos e oportunidades económicas mais “verdes”, permitindo ainda criar clusters de atividades inter-relacionadas, que podem ter um grande impacto regional ou local no emprego, no valor agregado local e no meio ambiente (Refsgaard et al., 2021).

A criação de clusters permitirá conectar diferentes parceiros (investigadores, desenvolvedores de tecnologia, operadores/produtores e consumidores) com o objetivo de desenvolver novas cadeias de valor e apoiar o surgimento de novos processos e materiais. Através da bioeconomia circular prevê-se a criação de cadeias de valor em áreas integradas de atividade de base biológica, rural e industrial ('*hubs*' de base biológica), vinculando redes regionais de agricultura, indústria e investigação e cimentando as bases para a construção de um ecossistema de cooperação e apoio às bioindústrias. Os projetos de apoio e coordenação poderão envolver o desenvolvimento de novos modelos de negócios para novas abordagens integradas de biorrefinaria em cascata, ecologia industrial e sistemas de simbiose: processamento combinado de resíduos, produção de bioenergia, integração e valorização de calor, reutilização de água e nutrientes (orgânicos), bem como análise de fluxos de materiais e energia para integrar processos e/ou unidades. A avaliação pode incluir estudos de viabilidade sobre os locais ideais, incluindo instalações adequadas não utilizadas para conversão em biorrefinarias (BIC, 2017).

2.1.5. A inteligência em espaços rurais

As mudanças climáticas, a globalização e os imperativos da habitabilidade e sustentabilidade (Schwab, 2016) associadas às dinâmicas populacionais e demográficas, e às necessidades de nutrição/alimentação, saúde, e serviços socioeducativos equitativos (Westlund et al., 2013) resultam em desafios consideráveis para a promoção da qualidade de vida e do ambiente (Divanbeigi et al., 2015). Esses processos requerem minimizar os

impactes humanos nos ciclos biogeoquímicos e o aumento da procura por serviços ambientais, principalmente a partir de áreas de elevada concentração, densidade e complexidade humana, como no caso de cidades, zonas estuarinas e costeiras (Divanbeigi et al., 2015) sobre as áreas seminaturais e rurais de menor densidade populacional e atividade humana. Esta realidade insiste na necessidade de valorizar e gerir a polaridade entre os espaços urbanos e rurais (Foray et al., 2011).

Este contexto e a satisfação dos imperativos de produção alimentar, bem como de condições, funções e acesso a serviços de ecossistema por uma população urbana global crescente, em número e exigência, obriga ao desenvolvimento de áreas rurais inteligentes. O aumento do conhecimento, da respetiva digitalização/codificação, processamento e partilha entre a sociedade e as comunidades facilitam a capacitação individual e coletiva, a implementação de sistemas de governança e soluções tecnológicas promotoras da responsabilidade social e ambiental, da transição energética, da sustentabilidade e habitabilidade. Estes imperativos e possibilidades permitem desenvolver os referenciais, os modelos e os instrumentos das áreas rurais inteligentes. Estes espaços e sistemas apostam na digitalização, capacitação e comunicação para obter o conhecimento, a capacidade e a criatividade crítica para a investigação, inovação, ação e adaptação a novas soluções/economias (Pérez-delHoyo et al., 2019) visando a sustentabilidade, a resiliência e a adaptação dos sistemas ambientais e de produção agroalimentar (CIRAD, 2013) à escala das comunidades e territórios rurais. Estes temas e processos complexos devem aproveitar as experiências e os avanços conseguidos pelas comunidades que operam de avaliação de cidades inteligentes.

Os territórios inteligentes referem-se à procura por inovação e adequação de diagnósticos, da capacitação e do conhecimento e, logo, de soluções políticas, sociais e tecnológicas inteligentes com foco nas oportunidades e necessidades humanas como elemento central, estrutural e identitário dos sistemas territoriais locais (Wolski et al., 2019). Estes desígnios enquadram-se nas estratégias e políticas públicas globais, europeias e nacionais nos domínios da digitalização, mudança climática, energia, agricultura, floresta, alimentação e saúde, educação, coesão e inclusão territorial.

Os atuais desafios globais exigem ferramentas que possam identificar e avaliar os aspetos ambientais, sociais e económicos. O desenvolvimento de um Sistema de Suporte à Decisão

Espacial (SSDE) pode auxiliar planejadores regionais e decisores políticos na definição de alternativas viáveis ao nível do planeamento estratégico (Rodríguez et al., 2017).

O planeamento regional e setorial são tarefas complexas e multidisciplinares realizadas por várias instituições e setores governamentais, visando o uso sustentável dos recursos físicos, biológicos e culturais de uma região (Ahern, 1999). Estes processos consistem em tarefas de coordenação de interesses sociais, económicos e ecológicos muita das vezes contraditórios, numa tentativa de desenvolver e ordenar o território suprimindo ao máximo as necessidades públicas e privadas, e, em simultâneo, resolvendo e evitando conflitos (Schaller et al., 2009).

O estudo de comunidades circulares exige uma perspetiva espacial ou geográfica. Para as regiões, a transição para uma bioeconomia circular requer a introdução de atividades circulares (industriais) na região, como reciclagem, remanufactura, armazenamento e logística (reversa), que são afetadas por fatores espaciais como proximidade de matérias-primas, agentes económicos e consumidores. Apesar de embrionária, o desenvolvimento dessa perspetiva e a crescente acessibilidade e qualidade dos dados espaciais de fluxo de materiais e agentes apresentam novas possibilidades. As ferramentas de análise espacial podem fornecer as capacidades significativamente avançadas para gerar abordagens e *insights* sobre a bioeconomia circular à escala regional e local (Tsui et al., 2022).

Atualmente existem inúmeras tecnologias e ferramentas de suporte no apoio à decisão de planeamento territorial numa perspetiva de bioeconomia circular. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) facilitaram a criação e a implementação de modelos para problemas de natureza espacial, como sejam as questões ambientais e de planeamento complexas. Estes instrumentos ajudam não apenas a processar, analisar e combinar dados espaciais, mas também a organizar e integrar processos em sistemas e soluções de base territorial (Schaller et al., 2009).

2.2. Enquadramento legal e estratégico

A definição e sistematização das principais linhas de orientação estratégica desta investigação requerem a análise do contexto externo, nomeadamente os compromissos políticos e sociais tomados às escalas global, europeia, nacional e regional. A identificação de tendências e fatores críticos ao âmbito da investigação permite alinhar

objetivos e direcionar orientações para a implementação de sistemas de produção circulares e sustentáveis que respondam aos desafios atuais e futuros do território.

Os atuais desafios e metas da sociedade (ODS) e europeu (Pacto Ecológico Europeu – PEE, Política Agrícola Comum – PAC, Horizonte Europa) incluem:

- i. a garantia de sistemas sustentáveis de produção de alimentos (ODS 2: Erradicar a Fome; PEE: Do Prado ao Prato) assegurando a conservação dos ecossistemas (ODS 15: Proteger a Vida Terrestre; PEE: Estratégia para a Biodiversidade) e fortalecendo a capacidade de adaptação às alterações climáticas (ODS 13: Ação Climática; PEE: Pacto Europeu para o Clima);
- ii. o recurso à produção e uso intensivo do conhecimento (Horizonte Europa: Cluster 5: Clima, energia e mobilidade) para alcançar o uso eficiente dos recursos naturais (ODS 12 Produção e Consumo Sustentáveis) fomentado pela digitalização e transição digital das comunidades, setores e utilizadores individuais (PAC: Agricultura 4.0);
- iii. a sustentabilidade e responsabilidade territorial e ambiental (PEE: Estratégia para a Biodiversidade; PEE: Do Prado ao Prato; PAC: Pilar II Desenvolvimento rural);
- iv. a promoção das economias verdes (bioeconomia), neutralidade carbónica e economia circular (PEE: Pacto Europeu para o Clima); (v) o uso de recursos biológicos locais (PEE: Estratégia para a Biodiversidade e PEE: Do Prado ao Prato) contribuindo para a promoção para uma transição para economia inclusiva e sustentável em regiões rurais inteligentes associada à digitalização (Horizonte Europa: Cluster 6: Alimentação, Bioeconomia, Recursos Naturais, Agricultura e Ambiente).

Os desafios globais e europeus, para a próxima década, foram transpostos para a realidade nacional em programas políticos que priorizam:

- i. o crescimento dos setores agrícola e florestal considerando a coesão social (Agenda para a Inovação Agrícola 2020-2030), promovendo recursos endógenos (Programa de Ação para o Enoturismo) e a valorização dos serviços ecológicos (Agenda para a Inovação Agrícola 2020-2030 - Territórios Sustentáveis) e superando os desafios da digitalização (Agenda para a Inovação Agrícola 2020-2030: Agricultura Circular, e Investigação, Inovação e Capacitação) e das mudanças de consumo (Programa de Desenvolvimento Rural - Cadeias curtas e Promoção de produtos de qualidade) e

- alterações climáticas (Agenda para a Inovação Agrícola 2020-2030 - Alterações climáticas);
- ii. o reforço da transição para uma economia de baixo carbono, gerando mais riqueza e emprego (Plano de Recuperação e Resiliência – PRR Eixo 2 - Transição Climática) através do fomento de conhecimento sobre as alterações climáticas especialmente identificando impactos, vulnerabilidades e medidas de adaptação para posterior integração em políticas de ordenamento do território e gestão de recursos (Programa Nacional para as Alterações Climáticas 2020-2030);
 - iii. o crescimento sustentado promovendo a convergência económica e a resiliência (PRR: Eixo 1 – Resiliência), assegurando o crescimento sustentável (PRR: Eixo 2 – Transição Climática) rumo à neutralidade carbónica num modelo justo de coesão territorial e uso eficiente de recursos (Plano Nacional Energia Clima), promovendo o uso sustentável da água dado os desafios colocados pelas alterações climáticas (Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais e Pluviais 2030), e assegurando a transição para uma sociedade mais digital (PRR: Eixo 3 – Transição Digital);
 - iv. travar a perda de biodiversidade reforçando a investigação e inovação orientadas para as prioridades de conservação de espécies e habitats (agroecossistemas e diversidade genética associada), reforçar a prevenção e controlo de espécie invasoras, evidenciar a economia da biodiversidade e dos ecossistemas (Estratégia Nacional para a Conservação da Natureza e Biodiversidade 2030) e promover o reconhecimento do valor do património natural através de ações de proximidade (Estratégia Nacional para a Educação Ambiental 2020).

A integração da área de intervenção da investigação na Euroregião coloca desafios de âmbito transfronteiriço, dos quais se destacam:

- i. a sustentabilidade e inovação da economia (Estratégia de Rio Minho Transfronteiriço 2030) através da criação de emprego melhorando a competitividade de pequenas e médias empresas (Programa de Cooperação Transfronteiriço Interreg VA Espanha-Portugal);
- ii. a cooperação institucional dos vários atores que atuam na fronteira quer na área da governação (Estratégia de Rio Minho Transfronteiriço 2030) quer na consolidação de programas conjuntos de investigação, inovação e desenvolvimento tecnológico

- (Programa de Cooperação Transfronteiriço Interreg VA Espanha-Portugal; Euroregião de Inovação;
- iii. a proteção do meio ambiente através do uso eficiente dos recursos naturais (Programa de Cooperação Transfronteiriço Interreg VA Espanha-Portugal), pela valorização do património natural e cultural numa perspectiva de aprofundamento e divulgação do conhecimento científico (Reserva da Biosfera Transfronteiriça Gerês-Xurés, Rede Natura 2000) e pela unificação de critérios de proteção ecológica do rio internacional (Plano de Gestão Transfronteiriço do Sítio de Interesse Comunitário Rio Minho);
 - iv. a promoção da resiliência territorial aos riscos naturais (Programa de Cooperação Transfronteiriço Interreg VA Espanha-Portugal).

A nível sectorial estamos enquadrados por: (i) Uma visão a longo prazo para as zonas rurais da EU; que fornece orientações políticas à Comissão e aos Estados-Membros com o objetivo de continuar a promover a prosperidade, a resiliência e o tecido social das zonas e comunidades rurais; (ii) A Estratégia do Prado ao Prato; como uma das ações principais do Pacto Ecológico Europeu. Num contributo para alcançar a neutralidade climática até 2050, a estratégia visa a transição do atual sistema alimentar da UE para um modelo sustentável; (iii) No que se refere à promoção e regulação da agricultura biológica considera-se o Regulamento (UE) 2018/848 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de maio de 2018, que estabelece as regras para a produção biológica e a rotulagem dos produtos biológicos e revoga o Regulamento (CE) n.º 834/2007 do Conselho, de 28 de junho de 2007. O novo regulamento prevê períodos transitórios para a aplicação de determinadas novas disposições, nomeadamente no domínio comercial; (iv) bem como na relação com a Diretiva (UE) 2018/851 Do Parlamento Europeu e do Conselho de 30 de maio de 2018 que altera a Diretiva 2008/98/CE relativa aos resíduos e (v) O novo Plano de Ação para a Economia Circular, comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões.

2.3. Os sistemas de produção agrícolas e biocircularidade

2.3.1. A circularidade na agricultura

No contexto atual, surge a necessidade de desenvolver estratégias de longo prazo promotoras de uma agricultura e alimentação sustentáveis e integradas na economia global,

para atender às exigências emergentes relacionadas à saúde, meio ambiente, mudanças climáticas e acessibilidade/equidade (Boer et al., 2018). As políticas governamentais, avanços científicos, a procura dos consumidores e as práticas agrícolas convergem para um paradigma comum: de otimização (considerando a terra, água, animais e energia) em detrimento da mera produtividade. Perante desse desafio, urge repensar abordagens, adotar conceitos agroecológicos e a capacidade de suporte dos agroecossistemas como elementos essenciais. Esta abordagem implica uma transformação paradigmática em direção à circularidade, integrada a uma bioeconomia mais abrangente, em que os ciclos biogeoquímicos relacionados aos solos e nutrientes devem ser fechados, com vista à reconstrução destes nutrientes a longo prazo. (Boer et al., 2018).

A análise dos sistemas agroalimentares evidencia que a redução substancial do uso de recursos naturais e das emissões associadas aos sistemas agroalimentares modernos pode ser alcançada por meio da transição para um sistema agroalimentar circular (Van Zanten et al., 2018).

O conceito de circularidade tem origem na ecologia industrial, consistindo numa abordagem que visa reduzir o consumo de recursos e as emissões ao meio ambiente através do fecho dos ciclos de matéria e energia. Sob este paradigma, as perdas de materiais e substâncias devem ser prevenidas e, quando ocorrem, recuperadas para reutilização, remanufatura e reciclagem. Em conformidade com tais princípios, a transição para um sistema alimentar circular requer a adoção de práticas e tecnologias que minimizem a utilização de recursos finitos, fomentem a utilização de recursos regenerativos e impeçam a perda de recursos naturais (como carbono C, azoto N, fósforo P, água, entre outros...), estimulando a reutilização e reciclagem das perdas inevitáveis de recursos, de modo a agregar o valor máximo possível ao sistema agroalimentar (Jurgilevich et al., 2016).

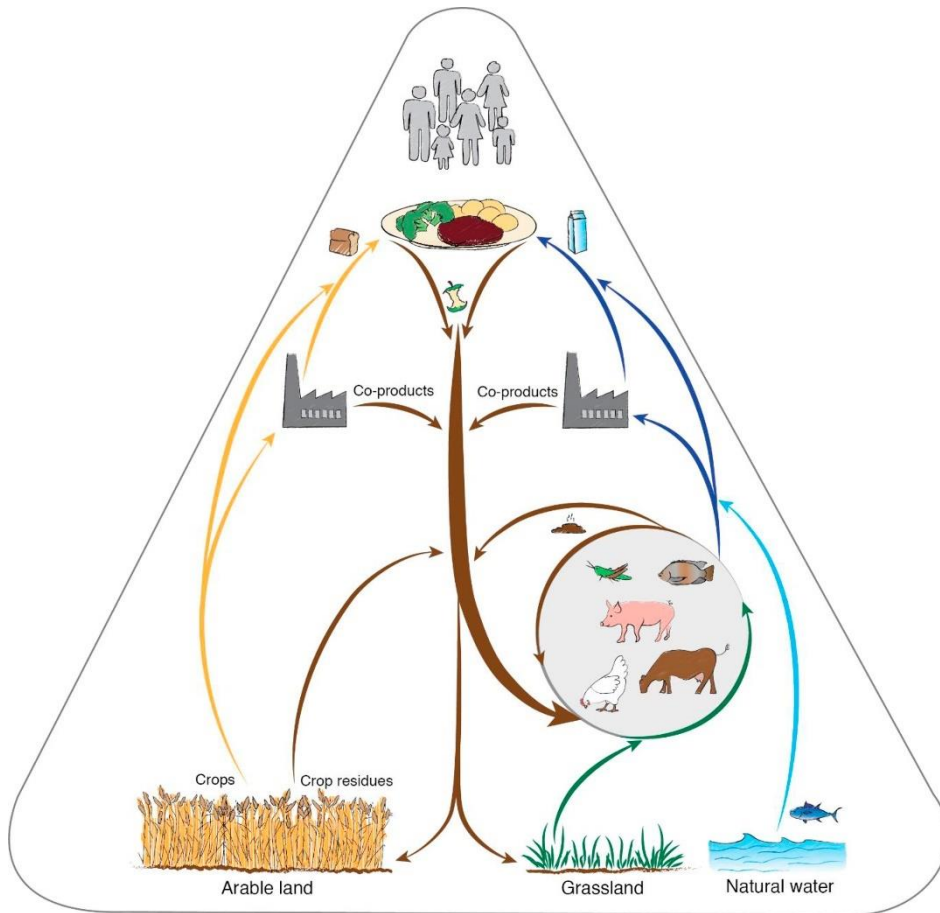


Figura 2. 6 – Circularidade no sistema agroalimentar (Van Zanten et al., 2019)

O sistema agroalimentar gera subprodutos e resíduos orgânicos, de natureza complexa e diversificada. Todos esses subprodutos e resíduos contêm carbono e nutrientes (como N e P), o que os torna valiosos como fontes de energia, proteína, micronutrientes ou materiais estruturais. Estes biorrecursos podem ser utilizados para diversos fins de forma a otimizar a produção circular de alimentos, desde:

- i. A aplicação no campo para aprimorar ou preservar a qualidade do solo, abrangendo desde a fertilidade do solo até a cobertura do solo e a prevenção da erosão;
- ii. A utilização como alimentação para animais ou insetos, visando a produção de alimentos de origem animal;
- iii. A produção de bioenergia, fertilizantes nutricionais ou biomateriais renováveis para mitigar as emissões de gases de efeito estufa;
- iv. A incorporação no solo para sequestro de carbono e mitigação de gases de efeito estufa.

O principal objetivo no processo de reutilização e reciclagem de subprodutos e resíduos orgânicos deve ser assegurar a qualidade dos solos, visto que estes constituem a base fundamental da agricultura. Estes processos e sistemas requerem soluções e medidas técnicas, regulamentares e socioeconómicas, bem como de organização e capacitação. A adoção de uma perspetiva abrangente de sistemas agroalimentares, considerando os diversos papéis que esses subprodutos podem ajudar a otimizar sua funcionalidade e a utilização em contextos locais.

2.3.2. A agricultura biológica e a bioeconomia circular

Os sistemas agroalimentares contemporâneos enfrentam desafios complexos e multifacetados, influenciados por mudanças socioeconómicas, tecnológicas e ambientais. Um sistema agroalimentar sustentável é essencial para alcançar a segurança e soberania alimentar e nutricional para todos, garantindo ao mesmo tempo a disponibilidade de recursos naturais e a minimização de impactos ambientais negativos, como desmatamento, perda de biodiversidade e emissões de GEE (Erb et al., 2016; Steffen et al., 2015; Theurl et al., 2020).

A pressão crescente sobre os sistemas agrícolas convencionais, devido a fatores como escassez de água, os eventos climáticos extremos e a resistência a pesticidas, juntamente com a degradação do solo e a escassez de recursos, destaca a necessidade urgente de práticas agrícolas sustentáveis (Houser et al., 2020; Práválie et al., 2021). Assim, a AB apresenta-se como uma alternativa viável, focando-se na redução de fatores de produção industriais sintéticos, nomeadamente fitofármacos e fertilizantes de origem mineral e sintética. Os sistemas de produção biológicos promovem práticas que melhoram o ciclo do azoto, a reciclagem de nutrientes como o fósforo, maior sequestro de carbono, além de promover uma maior biodiversidade e menor uso de energia (Clark et al., 2017; de Ponti et al., 2012; Seufert et al., 2012).

Segundo o *Codex Alimentarius*, a agricultura biológica é um sistema holístico de gestão de produção que promove e aprimora a saúde dos agroecossistemas, incluindo biodiversidade, ciclos biológicos e atividade biológica do solo. Estes modos de produção enfatizam o uso de práticas de gestão sustentáveis em detrimento do uso de fatores de produção externos, levando em consideração que as condições regionais exigem sistemas adaptados localmente. Isso é alcançado através do uso, sempre que possível, de métodos culturais,

biológicos e mecânicos, em oposição ao uso de materiais sintéticos, para cumprir qualquer função específica dentro do sistema (FAO, 2006).

Embora a agricultura biológica ofereça vantagens ambientais significativas e uma elevada heterogeneidade regional, os desafios permanecem, particularmente em relação à sua produtividade. Os rendimentos em sistemas de produção biológicos tendem a ser cerca de 20% menores em comparação com os sistemas agrícolas convencionais, uma diferença que, segundo alguns autores, pode ser mitigada mas não totalmente suprida, através de práticas como diversificação e rotação de culturas, bem como o uso de fertilizantes orgânicos (Barbieri et al., 2019; Li et al., 2020; Seufert et al., 2012).

As matérias-primas para fertilização orgânica devem ser derivadas de substâncias naturais, preferencialmente da produção biológica ou recolha natural (Reganold et al., 2016). No entanto, a gestão de nutrientes dentro dos sistemas de agricultura biológica é trabalhada, na medida do possível, dentro de um sistema fechado. As práticas de agricultura biológica visam maximizar a eficiência do ciclo de nutrientes dentro dos agroecossistemas da exploração (otimizando a mineralização do azoto no solo) e maximizar a fixação de azoto atmosférico através de leguminosas. Porém, estes ciclos fechados de nutrientes poderão ser prejudiciais pela falta de fertilizantes orgânicos, o que fará com que os sistemas de produção biológicos dependam de resíduos orgânicos fora da exploração (Stubenrauch et al., 2021) e existentes a nível local/regional.

Apesar dos avanços, tanto a agricultura convencional quanto a biológica enfrentam desafios na implementação plena de práticas de bioeconomia circular, especialmente no que se refere à recuperação de nutrientes originários de resíduos e subprodutos orgânicos fora do setor agroalimentar (Robles et al., 2020). O retorno de nutrientes com origem na sociedade para a agricultura biológica é extremamente baixo, estimando-se que apenas 2% do fornecimento de nutrientes possua esta proveniência (Nowak et al., 2013). O aumento destas percentagens poderia não apenas abordar essa escassez, mas também contribuir para reduzir a lacuna de produção entre a agricultura biológica e a convencional, uma vez que muita desta discrepância de produção está enraizada em carências no fornecimento de nutrientes adequado às culturas (de Ponti et al., 2012; Seufert et al., 2012). O conceito de bioeconomia circular, incentiva a uma melhor integração da produção mista de culturas e animais (Martin et al., 2016; Mueller et al., 2020) e o aumento do uso de fertilizantes

orgânicos de fluxos de resíduos urbanos (Reimer et al., 2020; Rööös et al., 2018; Smith et al., 2019).

Por outro lado, a digitalização e a integração tecnologias de agricultura de precisão pode aumentar ainda mais a eficiência e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas em geral e biológicos em particular (Dalezios et al., 2019).

A AB não só desempenha um papel crucial no desenvolvimento socioeconómico e na sustentabilidade ambiental, mas também na resiliência dos sistemas agrícolas através da manutenção e fortalecimento dos serviços de ecossistema. A transição para práticas agrícolas mais sustentáveis requer um esforço concertado para adaptar e redesenhar os sistemas agroalimentares, considerando mudanças nas dietas humanas e a promoção de uma maior integração entre a produção de culturas e a gestão de nutrientes, alinhando-se aos princípios da bioeconomia circular (Bommarco et al., 2018; Ewel et al., 2019). Além disso, a AB requer um crescimento contínuo em escala global e melhorias adicionais nas estratégias e tecnologias atuais para aumentar a eficiência dos fertilizantes em termos de fornecimento de nutrientes e utilização de recursos orgânicos de fertilizantes acessíveis próximos (Sharma et al., 2019).

A AB e a certificação em MPB

Desta forma, a AB consiste num sistema de produção agrícola que resulta de um conjunto de práticas de cariz agroecológico sustentáveis, o MPB é um sistema global de gestão das explorações agrícolas e de produção de géneros alimentícios. Uma exploração agrícola em MPB combina as melhores práticas ambientais, um elevado nível de biodiversidade, a preservação dos recursos naturais, a aplicação de normas exigentes em matéria de bem-estar animal e métodos de produção orientados para a preferência de certos consumidores por produtos obtidos utilizando substâncias e processos naturais (DGADR, 2023). Deste modo, o MPB desempenha uma dupla função social: (i) por um lado, abastece um mercado específico que responde à procura de produtos biológicos por parte dos consumidores, (ii) e por outro, fornece bens disponíveis para o público em geral que contribuem para a proteção do ambiente e do bem estar animal e para o desenvolvimento rural (Conselho, 2018).

No conjunto, existem diversas certificações em agricultura biológica a nível mundial. Na UE, para que uma exploração agrícola seja certificada em MPB é exigido o cumprimento de um conjunto de passos e normas de acordo com a legislação em vigor idênticas para

todos os estados-membros. De um modo geral, as explorações sujeitas ao processo de conversão, são avaliadas em termos ambientais (solo, ar e água) e quanto a riscos de contaminações exteriores à exploração e sujeitas a um período de conversão (Agrobio, 2017).

O período de conversão tem início no momento em que o agricultor notifica as autoridades competentes da sua atividade, no Estado-Membro em que esta for exercida e em que a exploração desse agricultor ou operador estiver sujeita ao sistema de controlo (Conselho, 2018). A duração prevista do período de conversão de cada exploração ou parcela é variável em função do tipo de cultura a instalar no caso da produção vegetal, e nas espécies e produtos a obter no caso da produção animal (Agrobio, 2017).

Não pode ser reconhecido retroativamente qualquer período anterior como parte integrante do período de conversão exceto quando: (i) as parcelas de terreno do operador tenham sido objeto das medidas definidas num programa aplicado em conformidade com o Regulamento (UE) nº 1305/2013 para garantir que não foram utilizados nessas parcelas de terreno produtos ou substâncias diversos dos autorizados na produção biológica; ou (ii) o operador possa apresentar provas de que as parcelas de terreno tinham consistido em superfícies naturais ou agrícolas que, durante um período de pelo menos três anos, não tenham sido tratadas com produtos ou substâncias cuja utilização não é autorizada na produção biológica (Conselho, 2018).

Este período de conversão surge da necessidade de reduzir ou eliminar antecedentes químicos do solo (resíduos de adubos e pesticidas), bem como um período de adaptação técnica dos agricultores às novas práticas culturais e ao conhecimento das regras e fatores limitantes (Agrobio, 2017).

2.3.3. Tipologias de resíduos orgânicos

Muitos resíduos orgânicos constituem fontes de biomassa de baixo custo, onde a sua utilização como substratos em biorrefinarias apresenta-se como uma oportunidade para a transformação desses resíduos em produtos de valor acrescentado, promovendo a sustentabilidade (Dey et al., 2021). Esta abordagem não só contribui para a mitigação das alterações climáticas, como também para a geração de novas oportunidades de mercado através de uma economia baseada na valorização eficiente de recursos renováveis (Beltrán-Ramírez et al., 2019).

Os resíduos orgânicos, muitas vezes designados como resíduos biodegradáveis, representam cerca de 46% da totalidade de resíduos produzidos globalmente (Yang et al., 2015). Consistem numa tipologia de resíduos produzidos a partir de organismos vivos (plantas, animais, fungos, etc.) e podem ser digerido por micróbios (biodegradáveis) dando origem a dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e outra moléculas orgânicas simples (Ashokkumar et al., 2022), que podem ser reutilizados por organismos vivos (plantas ou fungos) ou reintroduzidos nos ciclos biogeoquímicos do solo. Esta tipologia de resíduos é multissetorial abrange os setores agroflorestal, industrial e urbano, incluindo os resíduos alimentares, verdes e florestais, resíduos e efluentes agropecuários e agroindustriais, a fração orgânica de RSU, bem como lamas de depuração de estações de tratamento de águas residuais (ETAR).

Relativamente ao conceito de subproduto, este é aplicável a substâncias ou objetos que resultem de um processo produtivo cujo principal objetivo não seja a sua produção (resíduo de produção), quando verificadas, cumulativamente, as seguintes condições: (i) existir a certeza de posterior utilização lícita da substância ou objeto; (ii) ser possível utilizar diretamente a substância ou objeto, sem qualquer outro processamento que não seja o da prática industrial normal; (iii) a produção da substância ou objeto ser parte integrante de um processo produtivo; (iv) a substância ou objeto cumprir os requisitos relevantes como produto em matéria ambiental e de proteção da saúde e não acarretar impactes globalmente adversos do ponto de vista ambiental ou da saúde humana, face à posterior utilização específica (APA, 2021).

Resíduos agroflorestais

Os resíduos agroflorestais, uma fonte comum de resíduos orgânicos, encontram-se associados a resíduos gerados naturalmente a partir das atividades agrícolas, silvícolas e pecuárias, e possuem benefícios económicos e estratégicos na produção de uma ampla gama de produtos (Ashokkumar et al., 2022).

Esses “resíduos de campo” consistem em restos de culturas, como resíduos de poda, folhas e tecidos vegetais diversos, palha suja, estrume de animais, chorume e biomassa residual lenhosa, como madeira, serrim, cepos, toijas, raízes, ramos e bicadas (Dey et al., 2021). A disponibilidade e sazonalidade destes biorrecursos varia de acordo com diferentes regiões e localidades (Rowan et al., 2022).

Grande parte destes resíduos são compostos por biomassa lignocelulósica, que consiste na estrutura primária das células vegetais (Rowan et al., 2022) . A composição da biomassa residual agroflorestal varia em função da espécie vegetal, sendo geralmente composta por 35-50% de celulose, 20-35% de hemicelulose, 15-20% de lignina, além de outros componentes menores (cinzas, proteínas, minerais) (Lizundia et al., 2022).

Resíduos industriais

Durante cada fase de processamento, as indústrias geram uma enorme quantidade de resíduos e efluentes orgânicos. Estes resultam do processamento agroalimentar e florestal e a sua composição varia de consideravelmente de indústria para indústria (Ashokkumar et al., 2022).

No que refere ao setor agroalimentar, as diferentes cadeias de processamento e abastecimento fornecem uma grande quantidade de resíduos que podem ser valorizados numa ótica de bioeconomia circular. Este tipo de resíduos e efluentes orgânicos incluem, cascas de frutas e vegetais, cascas de ovos, farelo de cereais, águas residuais de lagares de azeite, bagaço e engaço de uva, subprodutos de leite e laticínios, resíduos de processamento de carne e peixe, resíduos de matadouros, águas residuais de processos de produção agroalimentar diversas, entre outros (Dey et al., 2021).

As indústrias de base florestal trabalham no sentido de um aproveitamento mais eficiente e sustentável dos seus fluxos residuais e secundários em produtos com maior valor acrescentado. Os resíduos orgânicos destas indústrias consistem sobretudo em resíduos que resultam das fases de processamento de madeira, maioritariamente da indústria de celulose e papel e no fabrico de mobiliário (BIC, 2017).

Resíduos urbanos

Os resíduos urbanos (RU) resultantes das diversas atividades humanas domésticas ou comerciais, possuem uma constituição altamente heterogénea, variando consideravelmente entre países e regiões (Ashokkumar et al., 2022).

Os resíduos alimentares são o maior constituinte da fração orgânica dos RSU, sendo gerados em várias fases ao longo da cadeia de abastecimento, desde desperdício alimentar gerado antes, durante ou após a preparação das refeições no domicílio, bem como alimentos descartados na indústria de processamento, distribuição de alimentos e serviços

de alimentação (incluindo restaurantes e cantinas de entidades públicas e privadas (European et al., 2011; Rowan et al., 2022).

Todos os anos são produzidos globalmente cerca de 1,3 bilhões de toneladas de resíduos alimentares, estimando-se que cerca de um terço dos bens alimentares produzidos são desperdiçados ao longo das cadeias de abastecimento (Ashokkumar et al., 2022). Com o objetivo de tornar os sistemas alimentares mais justos, saudáveis e ambientalmente amigáveis, a CE incentiva a aplicação da hierarquia de gestão de resíduos alimentares com base na prevenção, reutilização, reciclagem e recuperação. A eliminação é a opção menos preferível. As opções de reciclagem compreendem a valorização dos resíduos alimentares através da biotransformação em produtos de valor acrescentado, incluindo biomateriais, fertilizantes orgânicos e bioenergia (Le Pera et al., 2022).

Os resíduos verdes têm aumentado de forma considerável devido à rápida urbanização e expansão dos espaços verdes urbanos, representando globalmente cerca de 11% dos RSU. A sua constituição lignocelulósica faz com que estes resíduos possuam grande potencial para transformação em bioprodutos de valor acrescentado ou na geração de bioenergia através de tecnologias adequadas de acordo com os princípios da bioeconomia circular (Liu et al., 2023).

As lamas de depuração de ETAR são um subproduto inevitável do tratamento de águas residuais, com uma alta concentração de nutrientes, matéria orgânica e outros elementos (Ashokkumar et al., 2022). A gestão desta tipologia de resíduos está sujeita a diversas regulamentações devido às altas concentrações de metais pesados e outros contaminantes orgânicos que podem exceder os limites legais estabelecidos. Além disso, do ponto de vista de uma bioeconomia circular, estes resíduos podem se tornar em biorrecursos valiosos por meio da recirculação de matérias-primas como N e P (De Corato, 2021).

Em termos gerais, os resíduos orgânicos de origem urbana estão disponíveis ao longo do ano e a sua valorização agregará valor a estes biorrecursos, apoiando o desenvolvimento social e económico em áreas urbanas, facilitando a simbiose industrial e contribuindo para uma bioeconomia circular (BIC, 2017).

Biorresíduos

Os biorresíduos englobam resíduos biodegradáveis com origem multissetorial. De acordo com a Diretiva Quadro Resíduos (DQR) e o Regime Geral de Gestão de Resíduos

(RGGR), os biorresíduos são definidos como resíduos biodegradáveis de espaços verdes (jardins, parques, campos desportivos, entre outros), bem como os resíduos biodegradáveis alimentares de habitações, de unidades de fornecimento de refeições e de retalho e resíduos similares de unidades de transformação de alimentos (APA, 2015).

Com o enquadramento da bioeconomia circular e no âmbito da Diretiva Resíduos, foram definidas metas para a gestão de biorresíduos, em particular biorresíduos urbanos e fluxos específicos de biorresíduos, mais ambiciosas e que implicarão alterações profundas nos sistemas técnicos de gestão de resíduos, bem como no comportamento dos cidadãos e empresas (CVR, 2021).

2.3.4. Tecnologias de tratamento e valorização de resíduos orgânicos

As estratégias e tecnologias de gestão e valorização de resíduos e efluentes orgânicos não apenas contribuem para a preservação ambiental e o desenvolvimento sustentável, mas também tem grande importância no caminho para uma economia mais “verde” e circular (Huang et al., 2021), onde resíduos e subprodutos de determinadas indústrias ou setores são utilizados como matéria-prima de base biológica noutra indústria proporcionando um produto ou serviço de valor acrescentado, proporcionando soluções sustentáveis do ponto de vista ambiental, agronómico, económico e social.

A hierarquia integrada de gestão de resíduos indica que a valorização agrícola de resíduos orgânicos é uma abordagem mais sustentável e ecológica do que os métodos tradicionais de deposição de resíduos (aterro) e recuperação de energia (incineração), uma vez que a utilização de resíduos orgânicos para fins agronómicos contribui para o fornecimento de nutrientes benéficos às culturas e melhorando a fertilidade do solo. O objetivo de utilizar resíduos orgânicos na agricultura é manter um ciclo de sustentabilidade, onde a fração orgânica biodegradável destes resíduos é convertida em fertilizante orgânico através de métodos como a compostagem, vermicompostagem e digestão anaeróbia para produzir composto orgânico para uso agrícola (Sharma et al., 2019).

A compostagem é um dos métodos de tratamento biológico para resíduos orgânicos, através do qual os substratos são decompostos em condições aeróbias. Para garantir a eficiência do processo e a obtenção de um produto com as condições desejadas, é necessário garantir uma seleção criteriosa dos substratos utilizados, assim como o controlo de diversos parâmetros-chave do processo (Czekała et al., 2023). Existem métodos

distintos de compostagem tanto à escala doméstica ou comunitária, como à escala industrial, sendo que a escolha da melhor tecnologia depende do tipo, características e volume dos resíduos orgânicos a serem tratados, dos equipamentos e espaço disponíveis, da disponibilidade técnico-económica, do período de compostagem desejado e da qualidade do produto final (Le Pera et al., 2022). Da mesma forma, a vermicompostagem é outro processo biológico que utiliza minhocas e atividade microbiana em condições ambientais controladas para converter materiais orgânicos em vermicomposto, que é um excelente fertilizante orgânico rico em nutrientes e condicionador de solo (Sharma et al., 2019).

A digestão anaeróbia (DA) é um processo biológico bastante complexo que permite a decomposição da matéria orgânica na ausência de oxigénio para produzir biogás e um subproduto rico em nutrientes conhecido como "digerido" (De Corato, 2021). O digerido consiste principalmente de água, compostos orgânicos não decompostos durante o processo de DA, minerais e biomassa de microrganismos e pode ser posteriormente separado em frações sólidas e líquidas para fertilizar solos agrícolas (Czekala et al., 2023).

Previamente à sua aplicação na agricultura e de forma a completar as reações de biodegradação iniciadas durante o processo anaeróbio, é necessário proceder à estabilização aeróbia do digerido.(Cesaro, 2021). A compostagem é o método mais utilizado para estabilizar o digerido e garantir sua higienização e estabilidade biológica, reduzindo fortemente a poluição atmosférica, lixiviação para o meio hídrico e melhorando suas propriedades agronómicas (Le Pera et al., 2022).Os diferentes tipos de matérias-primas influenciam as propriedades físico-químicas do digerido, oferecendo desafios e oportunidades significativas (O'Connor et al., 2022). A DA tornou-se uma técnica de valorização popular devido à sua multifuncionalidade, na medida em que conjuga a gestão de resíduos orgânicos com a produção de bioenergia (O'Connor et al., 2022; W. Wang et al., 2023).

Os resíduos orgânicos de constituição mais lignocelulósica podem ser convertidos em biocarvão através da pirólise. Este processo termoquímico degrada compostos orgânicos na ausência total ou parcial de O₂, resultando em biocarvão. A produção de biocarvão tem despertado grande interesse para diversas aplicações tecnológicas, assim como potencial agronómico. O biocarvão desempenha um papel significativo na melhoria das propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo. Além disso, a aplicação combinada de

biocarvão e composto pode fornecer alternativas sustentáveis e económicas com efeitos sinérgicos a nível da fertilidade do solo e consequente crescimento e nutrição vegetal (Ashokkumar et al., 2022).

2.3.5. Critérios de qualidade para a aplicação de composto ou digerido na agricultura biológica

Cada um dos processos mencionados permite obter fertilizantes orgânicos com ótimas propriedades agronómicas, que surgem como alternativas viáveis a fertilizantes de origem sintética e mineral. A nível global, cada país estabeleceu seus próprios padrões e regras para o uso de composto na agricultura (Le Pera et al., 2022). No caso específico da UE, foi recentemente adotado o regulamento 2019/1009, que estabelece regras relativas à disponibilização no mercado de produtos fertilizantes (Conselho, 2019), para garantir o valor agronómico, a estabilidade biológica e o uso seguro do composto nos estados membros .

As condições de disponibilização dos fertilizantes no mercado interno foram parcialmente harmonizadas através do Regulamento (CE) nº 2003/2003 do Parlamento Europeu e do Conselho. Este diploma abrange quase exclusivamente os fertilizantes obtidos a partir de matérias inorgânicas minerais ou que são produzidos através de processos químicos. Porém, verifica-se cada vez mais a necessidade de utilizar matérias recicladas ou orgânicas como fertilizantes, com condições harmonizadas para a sua disponibilização em todo o mercado interno de fertilizantes, de forma a incentivar a sua utilização. A promoção da reciclagem de nutrientes deverá ainda contribuir para o desenvolvimento da bioeconomia circular e permitir, de uma forma geral, uma utilização mais eficiente dos nutrientes, reduzindo simultaneamente a dependência da UE de fatores de produção externos (Conselho, 2019). Em função das diversas utilizações previstas, os produtos fertilizantes deverão ser divididos em diferentes categorias funcionais do produto, e cada categoria ser sujeita a requisitos específicos de segurança e de qualidade (Conselho, 2019).

A autorização e a utilização de determinados produtos e substâncias na produção biológica são estabelecidas no Regulamento de Execução (UE) 2021/1165 da Comissão. Para efeitos do disposto no Regulamento (UE) 2018/848, apenas as substâncias e os produtos enumerados no anexo II do Regulamento de Execução (UE) 2021/1165 podem ser utilizados na produção biológica como fertilizantes, corretivos do solo e nutrientes para a nutrição de plantas. Para tal, é exigido o cumprimento das disposições aplicáveis do direito

da UE, nomeadamente o disposto no Regulamento (CE) n° 2003/2003 do Parlamento Europeu e do Conselho (relativo aos adubos), os artigos aplicáveis do Regulamento (UE) 2019/1009 do Parlamento Europeu e do Conselho, o disposto no Regulamento (CE) n° 1069/2009 do Parlamento Europeu e do Conselho (que define regras sanitárias relativas a subprodutos animais e produtos derivados não destinados ao consumo humano e que revoga o Regulamento (CE) n° 1774/2002 (regulamento relativo aos subprodutos animais)), o disposto no Regulamento (UE) n° 142/2011 da Comissão (que aplica o Regulamento (CE) n° 1069/2009 do Parlamento Europeu e do Conselho que define regras sanitárias relativas a subprodutos animais e produtos derivados não destinados ao consumo humano e que aplica a Diretiva 97/78/CE do Conselho no que se refere a certas amostras e certos artigos isentos de controlos veterinários nas fronteiras ao abrigo da referida diretiva), e, se for o caso, as disposições nacionais baseadas no direito da UE (Comissão Europeia, 2021).

3. METODOLOGIA

Apresentação e fundamentação das opções e processos metodológicos que visam: (i) a definição de áreas com maior aptidão técnico-económica para a conversão em MPB no Alto Minho (NW Portugal); (ii) considerando a cartografia, as tipologias e a quantificação dos diferentes fluxos de resíduos orgânicos no Alto Minho, bem como o custo de transformação do solo e os padrões de distribuição, comercialização e consumo de produtos biológicos. Neste contexto, desenvolveram-se modelos multicritério e multiobjectivo espacialmente explícitos que visam/garantem soluções inteligentes e efetivas de biocircularidade local. Os modelos experimentam-se para o distrito de Viana do Castelo (NW Portugal) como validação de uma abordagem transferível para outros territórios.

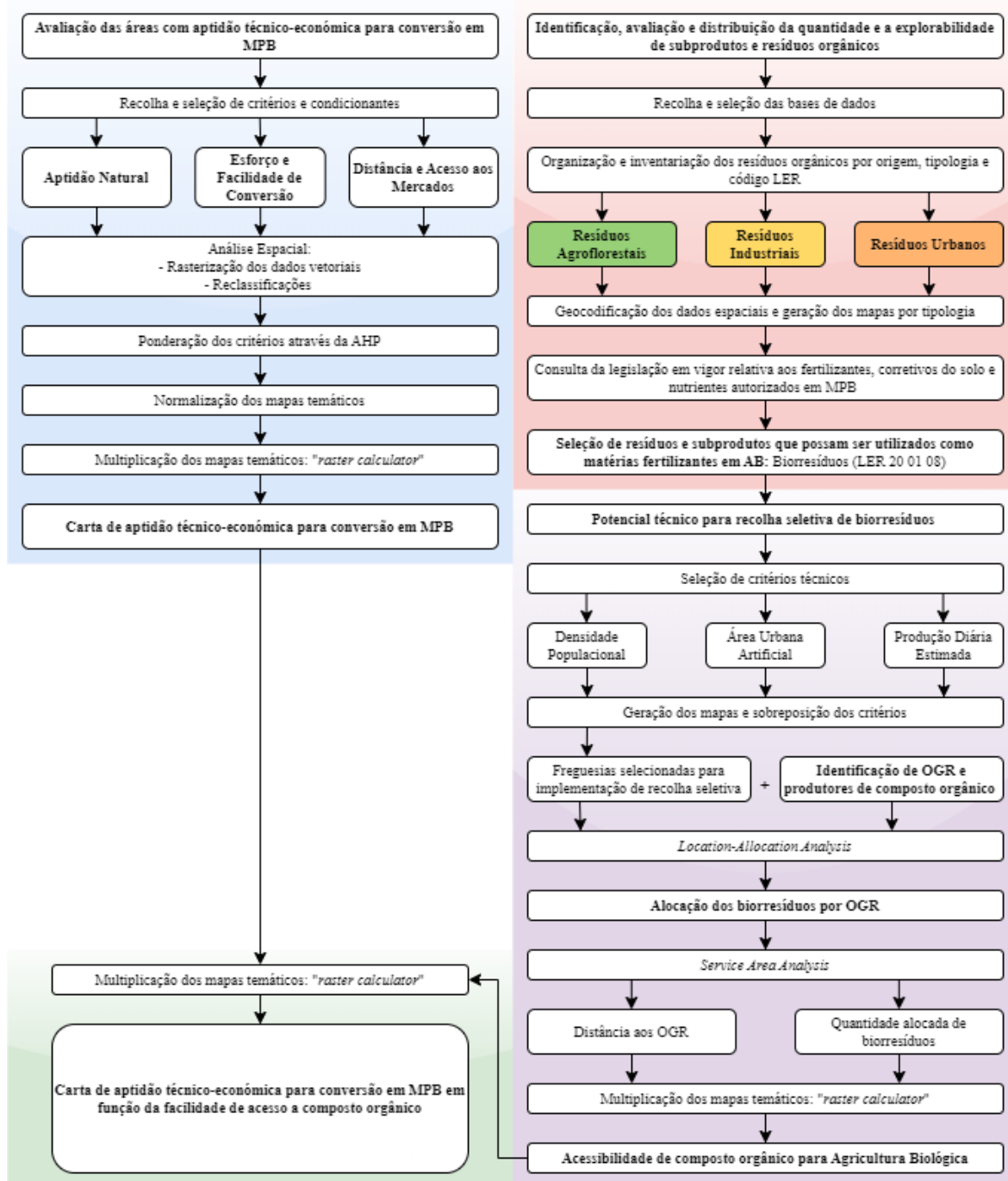


Figura 3. 1 – Fluxograma metodológico da investigação

3.1. Enquadramento, objetivos e desenvolvimento metodológico

O tema desta investigação considera a obrigatoriedade de implementação de sistemas de recolha e tratamento de biorresíduos por parte dos estados-membros da EU. Esta questão motivou o interesse de ampliar esta estratégia a outras tipologias de resíduos ou subprodutos orgânicos que correspondessem aos requisitos de matérias-primas autorizadas em AB como fertilizantes ou no fabrico de fertilizantes comerciais, que se encontram em

conformidade com a legislação comunitária em vigor. Outra questão que entusiasmou esta investigação foi o fomento/expansão das áreas em MPB que constitui uma das diversas medidas presentes na Estratégia Nacional para a Agricultura Biológica.

Em função dos objetivos gerais formulados, foram estabelecidos objetivos específicos que fundamentam a investigação:

- I. Avaliar a aptidão técnico-económica de áreas agroflorestais para conversão em MPB;
- II. Identificar, avaliar e quantificar a distribuição e a explorabilidade de subprodutos e resíduos orgânicos, de acordo com a:
 - i) Identificação e avaliação e distribuição de subprodutos e resíduos orgânicos;
 - ii) Seleção de resíduos e subprodutos que possam ser utilizados como matérias fertilizantes em AB;
 - iii) Quantificação e explorabilidade de subprodutos e resíduos orgânicos autorizados em MPB;
- III. Otimização da localização de áreas com aptidão para conversão em MPB em função da disponibilidade de resíduos orgânicos para valorização em AB, num quadro de bioeconomia circular regional.

No final deste trabalho pretende-se acrescentar conhecimento sobre a realidade local e regional de forma a contribuir para uma estratégia regional de promoção de AB no quadro da bioeconomia circular. Com os objetivos gerais e específicos, e reunião as bases de dados necessárias, desenvolveram-se de forma sequencial e coordenada as diversas fases do trabalho.

3.1.1. Recolha e processamento de dados espacialmente explícitos

A recolha e processamento dos dados exigiu a utilização de diversos softwares, os quais o *Microsoft® Excel® 2016 MSO*, *Google Earth Pro*, *ArcGIS Pro* (versão 3.0.2.) e *AHP-OS* (BPMSG).

Quadro 3. 1 – *Software* utilizado para processamento dos dados

Função	Software
Organização das bases de dados	
Quantificações de resíduos	<i>Microsoft Excel</i>
Tratamento estatístico dos dados	
Georreferenciação de potenciais produtores de resíduos orgânicos	<i>Google Earth Pro</i> e <i>ArcGIS Pro</i>

Função	Software
Análise exploratória de dados espaciais	
Cálculo de diversos parâmetros em formatos vetoriais e <i>raster</i>	
Análises Espaciais Multicritério	<i>ArcGIS Pro</i>
Modelação de Alocação de Localização	
Geração de mapas temáticos multivariados	
Análise Hierárquica Ponderada	AHP-OS

3.1.2. Área de estudo

A área de estudo contempla todo o Alto Minho, nomeadamente o distrito de Viana do Castelo. O Alto Minho localizado no extremo Noroeste do país com uma área de 221884 ha, classificada como uma sub-região estatística portuguesa NUTS III e inserindo-se na unidade territorial “Norte de Portugal” (NUT II), agrega dez municípios, entre os quais: Arcos de Valdevez, Caminha, Melgaço, Monção, Paredes de Coura, Ponte da Barca, Ponte de Lima, Valença, Viana do Castelo e Vila Nova de Cerveira. O Alto Minho estabelece fronteira a Norte e Este com a Galiza, a Sul com o Distrito de Braga e a Oeste com o Oceano Atlântico (ESA-IPVC, 2020).

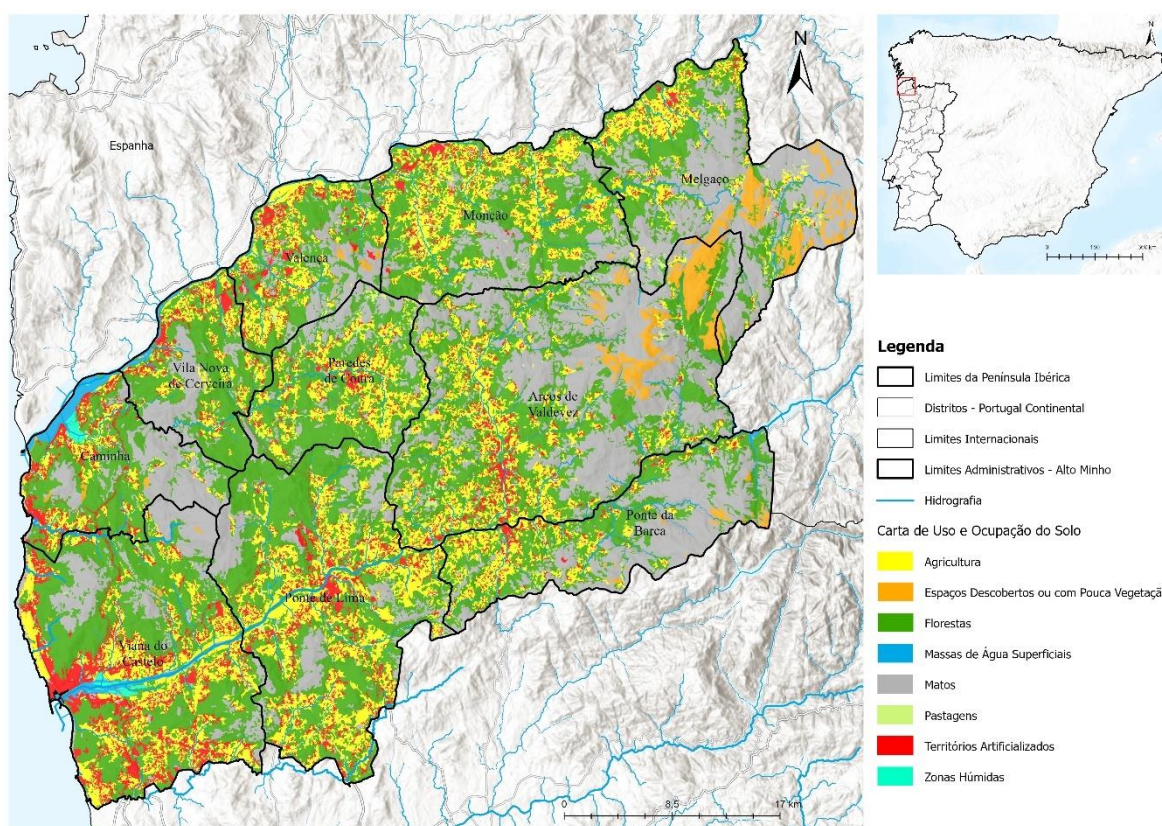


Figura 3. 2 – Enquadramento territorial da área de estudo

O Alto Minho é um território que abrange um mosaico complexo e dinâmico de interdependências entre espaços urbanos, rurais e naturais. No entanto, fenómenos como o êxodo rural têm vindo a contribuir para o aumento demográfico em espaços urbanos, que concentram mais de 75% da população em apenas um terço do território (ESA-IPVC, 2020).

Assim, o Distrito de Viana do Castelo é caracterizado por duas realidades distintas: (i) uma primeira relacionada com os espaços urbanos com grande concentração populacional, atividade empresarial e serviços, (ii) e uma segunda relacionada com os espaços rurais, onde predominam espaços florestais e agrícolas, que nas últimas décadas têm sofrido pressões diversificadas como o aumento do abandono de atividades agrosilvopastoris e a intensificação e especialização localizada dos processos produtivos (ESA-IPVC, 2020).

A sua localização associa-se a uma topografia irregular ao combinar espaços de montanha interior, serras, vales e o litoral atlântico num mosaico paisagístico variado que emerge como elemento identitário da região reflexo das condições biogeográficas diferenciadas que se traduzem em formas de ocupação do território também distintas. (ESA-IPVC, 2020)

Na ocupação humana ao longo do território sobressaem a grande dispersão dos espaços construídos, onde se percecionam dois sistemas urbanos contínuos: o sistema urbano de fronteira que percorre o arco definido pelos concelhos de Caminha, Vila Nova de Cerveira, Valença, Monção e Melgaço e o sistema urbano interior que integra os concelhos de Viana do Castelo, Ponte de Lima, Ponte da Barca, Arcos de Valdevez e Paredes de Coura (ESA-IPVC, 2020).

Do ponto de vista regional e estratégico, o Distrito desempenha uma importante função na gestão e manutenção dos fluxos de pessoas e bens entre Portugal e Espanha, em particular a Galiza, uma vez que, quer por via ferroviária, marítima ou viária, é um importante ponto de comunicação internacional. Por outro lado, o Distrito de Viana do Castelo encontra-se numa localização geoestratégica, uma vez que, dada a sua proximidade aos principais centros urbanos do Noroeste Peninsular, consegue estar próximo de um elevado número de pessoas e empresas, mantendo ao mesmo tempo as suas características rurais, muito associadas a uma elevada qualidade de vida e potencia de atração turística (ESA-IPVC, 2020).

3.2. Avaliação das áreas com aptidão técnico-económica para conversão em MPB

O desenvolvimento da agricultura em MPB deve ser incentivado em locais com condições naturais adequadas, com esforços de conversão e custos de produção baixos e idealmente próxima dos locais de potencial consumo. A AB requer bons solos, ricos em matéria orgânica, baixos declives, disponibilidade de água e drenagem, e não menos importante, boa acessibilidade (Mishra et al., 2015). Neste contexto, desenvolveu-se um modelo multicritério espacialmente explícito, com recurso a Análise Hierárquica Ponderada (AHP), para identificar/cartografar áreas agroflorestais com maior aptidão para conversão em MPB, coerente com as políticas e práticas de conversão atuais.

Os SIG combinados com análises de aptidão da terra e análise multicritério oferecem vantagens significativas, colocando as ferramentas integradas de SIG em destaque no suporte à tomada de decisões (Zubaryeva et al., 2012).

A análise de aptidão da terra é um método de deteção das suas capacidades inerentes (Bandyopadhyay et al., 2009) e seu potencial e adequação para diferentes finalidades (FAO, 1976). Este tipo de análise mede o grau de adequação da terra para um uso específico com base em suas qualidades e requisitos (Collins et al., 2001; FAO, 1976; Hopkins, 1977; Malczewski, 2004).

Por conseguinte, os modelos de análise multicritério são amplamente utilizados em análises de aptidão da terra. Estes modelos relacionam vários critérios, como elementos biofísicos, bem como aspectos socioeconómicos e culturais no processo de tomada de decisão (Akinci et al., 2013; F. Wang et al., 1990; Yu et al., 2011), por forma a encontrar soluções para diferentes problemas com diferentes alternativas relacionados ao uso da terra (Jankowski, 1995).

A flexibilidade e qualidade da análise de múltiplos dados geoespaciais resultam que a integração de modelos de análise multicritério nos SIG adquira uma extrema utilidade no suporte à decisão de prioridade ao uso da terra, mesmo perante desafios ou alternativas de gestão complexos (Malczewski, 2006). A aplicabilidade destas ferramentas e tecnologias abrange áreas desde a agricultura, gestão de bacias hidrográficas e recursos naturais, planeamento urbano, indústria, entre outros (Zolekar et al., 2015).

O modelo espacial desenvolvido integra sobretudo operações de análises de distância, conversão de dados vetoriais e dados *raster*, sobreposição e reclassificação. Esta análise

teve por base um grupo de critérios e condicionantes de diferentes dimensões e subdimensões (Quadro 3. 2e Quadro 3. 3), nomeadamente:

- i. Aptidão natural: (i) características físicas do solo, (ii) características bioquímicas do solo e (iii) características fisiográficas;
- ii. Esforço e facilidade de conversão: (i) intensificação e esforço de transformação do solo e (ii) contaminação por efluentes pecuários;
- iii. Distância e acesso aos mercados: (i) acessibilidade e (ii) distância a locais de venda de produtos biológicos.

Cada critério e conjunto de dados foi normalizado para o sistema de referência espacial ETRS89 TM06, assim como todos os critérios em formato vetorial foram convertidos em formato *raster* com um tamanho de pixel de 10 m. Posteriormente, os valores dos critérios temáticos foram reclassificados em escalas categóricas (0 para exclusão e uma escala de 1 a 5, onde 1 corresponde ao valor mais desfavorável e 5 ao valor ótimo). Relativamente às zonas de exclusão, foi criada uma carta de condicionantes técnicas e legais à conversão (Quadro 3. 3) apenas com os critérios temáticos que possuísem alguma categoria nula no processo de reclassificação. Esta carta de condicionantes, em formato *raster*, foi categorizada entre 0 e 1, onde 0 serão as zonas de restritas e 1 as zonas não restritas para conversão em MPB.

Quadro 3. 2 – Critérios utilizados na cartografia de aptidão

Dimensão	Subdimensão	Critério	Análise Espacial	Reclassificação	Ponderação AHP	Fontes de dados
Aptidão Natural	Características físicas do solo	Tipos de solos	<i>Reclassify; Polygon to Raster</i>	0 - Água, Praias, Sapais e Urbano; 1 - Leptosolos; 2 - Arenosolos; 3 - Regossolos; 4 - Cambissolos; 5 - Antrosolos e Fluvisolos	13,3%	DRAPN
		Risco de erosão	<i>Reclassify; Polygon to Raster</i>	1 - Muito Alto; 2 - Alto; 3 - Médio; 4 - Baixo; 5 - Nulo	13,3%	DRAPN
		Pedregosidade (%)	<i>Reclassify</i>	5 (8,08 - 10); 4 (10 - 15); 3 (15 - 25); 2 (25 - 35); 1 (35 - 42,01)	13,3%	ESDAC
	Características bioquímicas do solo	pH	<i>Reclassify</i>	1 (4,42 - 4,50); 2 (4,50 - 4,80); 3 (4,80 - 5,20); 4 (5,20 - 5,60); 5 (5,60 - 6,43)	4,8%	ESDAC
		Capacidade de troca catiónica (cmol/kg)	<i>Reclassify</i>	1 (2,63 - 3,00); 2 (3,00 - 6,00); 3 (6,00 - 9,00); 4 (9,00 - 12,00); 5 (12,00 - 15,89)	4,8%	ESDAC
	Características fisiográficas	Declive (%)	<i>Slope; Reclassify</i>	5 (0 - 6); 4 (6 - 12); 3 (12 - 24); 2 (24 - 30); 1 (30 - 71,3)	32,7%	
		Exposição Solar	<i>Aspect; Reclassify</i>	1 (Norte); 2 (Nordeste e Noroeste); 3 (Este e Oeste); 4 (Sudeste e Sudoeste); 5 (Plano e Sul)	13,3%	DEM SRTM Portugal Continental
		Altimetria (m)	<i>Reclassify</i>	0 (-15 - 0); 1 (0 -10 e 1000 - 1412); 2 (750 - 1000); 3 (500 - 750); 4 (250 - 500); 5 (10 - 250)	4,8%	
	Esforço e Facilidade de Conversão	Intensificação e Esforço de Transformação	Intensificação do uso do solo	<i>Reclassify; Polygon to Raster</i>	Anexo I e Anexo II	42,9%
Esforço de transformação da terra				42,9%		
Contaminação por Efluentes Pecuários		Distância a explorações de gado sem terra com produção de chorume	<i>Euclidean Distance; Reclassify</i>	1 (0-100 m); 2 (100-200 m); 3 (200-300 m); 4 (300-500 m); 5 (> 500 m)	14,3%	DGADR

Dimensão	Subdimensão	Critério	Análise Espacial	Reclassificação	Ponderação AHP	Fontes de dados
Distância e Acesso aos Mercados	Acessibilidade	Distância a todas as vias de comunicação excluindo autoestradas e similares	<i>Euclidean Distance; Reclassify</i>	5 (0-500 m); 4 (500-1000 m); 3 (1000-2000 m); 2 (2000-3000 m); 1 (> 3000 m)	42,9%	SITAI
		Distância aos acessos de autoestradas e similares	<i>Euclidean Distance; Reclassify</i>	5 (0-5 km); 4 (5-10 km); 3 (10-15 km); 2 (15-20 km); 1 (> 20 km)	14,3%	
	Comercialização	Distância aos mercados municipais, lojas de produtos biológicos e produtores biológicos com venda no local	<i>Geocoding; Euclidean Distance; Reclassify</i>	5 (0-5 km); 4 (5-10 km); 3 (10-15 km); 2 (15-20 km); 1 (> 20 km)	42,9%	Google Maps

Quadro 3. 3 – Restrições utilizadas no modelo multicritério

Categoria	Subcategoria	Condicionantes	Condição
Aptidão Natural	Características físicas do solo	Tipos de solos	Água, Praias, Sapais e Urbano
	Características fisiográficas	Altimetria (m)	- 15 m - 0 m
Esforço e Facilidade de Conversão	Intensificação e Esforço de Transformação	Intensificação do uso do solo e Esforço de transformação da terra pela COS2018 Intensificação do uso do solo e Esforço de transformação da terra pelo ISIP2021	Territórios Artificializados, Praias, dunas e areais, Rocha nua, Zonas Húmidas e Massas de Água Superficiais Área Social, Elemento Linear Linha de Água, Massas de Água e Vias
Distância e Acesso aos Mercados	Acessibilidade	Distância a todas as vias de comunicação excluindo autoestradas (A3, A28, A27 e IC28)	Restrição desde o eixo da via até 10 m de distância da berma
		Acessos de Autoestradas, IC's e IP's	Restrição desde o eixo da via até 20 m de distância da berma

3.2.1. Aptidão natural

A aptidão natural refere-se à capacidade intrínseca de um solo para suportar a produção agrícola, sendo esta determinada por uma combinação de fatores climáticos, fisiográficos e pedológicos. Neste estudo a aptidão natural agrícola foi avaliada mediante características físicas do solo, características bioquímicas do solo e características fisiográficas da região.

No que diz respeito às características físicas do solo, esta subcategoria inclui o tipo de solos, o risco de erosão e a pedregosidade. Apesar de generalista, os tipos de solos indicam-nos indiretamente certas propriedades físicas do solo como a textura, estrutura, densidade aparente, porosidade, capacidade de armazenamento, infiltração e drenagem de água e resistência à compactação que irão afetar o crescimento e a proliferação das raízes, influenciando a disponibilidade de nutrientes (Brito, 2016). A pedregosidade consiste na percentagem de partículas de solo com diâmetro superior a 2 mm. Solos com um teor de pedregosidade elevado são menos adequados para a agricultura (Anderson et al., 2023). A erosão do solo afeta negativamente as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, resultando na diminuição da profundidade do solo, da matéria orgânica e da disponibilidade de nutrientes essenciais para as plantas, comprometendo a aptidão do solo para a agricultura de forma significativa (Akıncı et al., 2013).

Quanto às características bioquímicas consideram-se o pH e a capacidade de troca catiónica (CTC) nesta subcategoria. O pH do solo representa o grau de acidez ou alcalinidade de um solo. Este parâmetro é considerado essencial, uma vez que afeta inúmeros processos químicos, especificamente a disponibilidade de nutrientes para as plantas, sendo importante para avaliar alterações do solo relativamente à sua fertilidade e estabilização (USDA, 2011). A CTC consiste na quantidade máxima de catiões que pode ser retida no solo, sendo este parâmetro usado como medida de fertilidade. Este parâmetro fornece igualmente informações valiosas relativamente ao teor de matéria orgânica no solo, uma vez que altos teores de CTC poderão ser indicadores de altos teores de matéria orgânica (Tan et al., 1984), especialmente em solos onde o teor em argila é baixo como é o caso da região em estudo.

No que se refere às características fisiográficas consideraram-se o declive, a exposição solar e a altimetria. O declive é um fator crítico, pois terá impacto negativo direto em diversos fenómenos geomorfológicos, nomeadamente na erosão do solo, consequentemente da sua espessura e fertilidade. Por outro lado, este parâmetro restringe

igualmente a produção agrícola pela impossibilidade de mecanização em solos com declives elevados (Akıncı et al., 2013). Qualquer atividade fisiológica vegetal é regulada pela exposição solar, existindo variações quanto à duração da mesma em relação a diferentes espécies de plantas. No entanto, em geral, a grande maioria das plantas exibem crescimentos ótimos em locais expostos a sul, sudeste ou sudoeste (Akıncı et al., 2013). A altimetria constitui outro fator importante, influenciando a quantidade e diversidade de coberto vegetal por influência de fatores meteorológicos como a temperatura e o vento, especialmente em terras altas (Akıncı et al., 2013). Estes fatores irão influenciar os ciclos vegetativos das plantas, o que afetará posteriormente a produção agrícola.

3.2.2. Esforço e facilidade de conversão em MPB

Neste estudo, o esforço e facilidade de conversão em MPB consistiu numa análise das classes de uso e ocupação atuais presentes na COS2018, no Sistema de Informação Parcelar Online (iSIP) do Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas (IFAP) para o ano de 2021 e pela proximidade a explorações pecuárias sem terra (DGADR).

Com base no uso e ocupação atual os locais atualmente classificados como áreas agrícolas serão naturalmente mais adequadas graças a infraestruturas já existentes, assim como solos mais propícios à produção agrícola, seja ela convencional ou biológica. Porém, áreas silvopastoris também possuem aptidão para uso agrícola, nomeadamente áreas de pastagens, florestas e matos, obviamente com diferentes graus de adequação em função da dificuldade técnica em tornar esses mesmos solos agriculturáveis. Em contrapartida, territórios artificializados, zonas húmidas e massas de água superficiais serão automaticamente excluídos.

Para além do esforço de transformação da terra em solos onde seja possível fazer agricultura, na perspetiva da conversão os usos e ocupações atuais possuem imensa influência relativamente à certificação para MPB. A ocupação atual do solo desempenha um papel crucial na facilidade/viabilidade no processo de conversão de terras para a agricultura biológica. Neste sentido, áreas de baixa intervenção ou intensificação humana apresentam uma vantagem inicial. Neste caso, áreas agrícolas que atualmente já sigam práticas agrícolas com baixa ou nenhuma utilização de produtos fitofarmacêuticos poderão ter um processo de conversão mais agilizado devido à baixa intensidade de uso do solo. O mesmo acontece com áreas silvopastoris, as quais à partida possuirão níveis reduzidos de

contaminação do solo. Nesta vertente de análise, territórios artificializados, zonas húmidas e massas de água superficiais serão igualmente excluídos da análise.

Por outro lado, a proximidade a explorações pecuárias, nomeadamente as explorações pecuárias sem terra com geração de efluentes, terão um impacto negativo quanto à viabilidade para certificação em MPB, devido ao risco de contaminação de áreas envolventes por concentração de nutrientes e/ou contaminantes no solo e posteriormente nas massas de água.

3.2.3. Distância e acesso aos mercados

A incorporação de critérios de distância e acesso aos mercados nesta análise ajuda a identificar áreas com potencial para agricultura biológica, não apenas do ponto de vista agronómico, mas também sob uma perspetiva de viabilidade económico-financeira, promovendo o crescimento da agricultura biológica e a sua contribuição para a economia local. Nesse contexto, a acessibilidade rodoviária e a proximidade a locais/postos de venda de produtos biológicos são fatores economicamente relevantes, desempenhando um papel vital na tomada de decisões informadas. A acessibilidade rodoviária afeta os custos de transporte e a logística, influenciando diretamente a viabilidade económica da produção e distribuição de produtos agrícolas biológicos. Esta foi dividida e analisada entre a proximidade à rede rodoviária local e a proximidade aos acessos à rede rodoviária concessionada (autoestradas e afins).

Por outro lado, a proximidade a locais de venda de produtos biológicos pode aumentar a comercialização e a rentabilidade dos produtos, reduzindo os custos de distribuição e expandindo o acesso a mercados consumidores.

3.2.4. Ponderação dos critérios através da AHP

As ponderações para cada critério foram calculadas segundo a abordagem AHP (Anexo III, Anexo IV e Anexo V). A AHP, originalmente desenvolvida pelo Professor Thomas L. Saaty consiste numa ferramenta flexível de tomada de decisão para determinar a importância relativa, preferência ou probabilidade de ocorrências ou critérios considerados pelos utilizadores (decisores, investigadores, empresários e população em geral) através da comparação de múltiplos critérios (Saaty, 1991). Pode ser aplicada para fazer comparações pareadas entre critérios, reduzindo deste modo a sua complexidade (Saaty, 1977).

Este método simplifica a tomada de decisões complexas de modo a escolher e justificar opções. Deste modo, após identificação das alternativas e critérios significantes, atribui-se um nível de importância relativa entre critérios usando uma escala de 1 a 9, na qual 1 significa igualdade de importância e 9 expressa extrema importância na comparação entre 2 critérios. Comparam-se os mesmos e as alternativas são registadas em matrizes na forma de frações de 1/9 e 9, calculando-se posteriormente os valores globais de preferência para cada alternativa.

Um dos pontos fortes da AHP consiste na identificação e consideração das inconsistências dos decisores (García et al., 2014), transparecendo assim a sua eficiência. Estes parâmetros são medidos pela Razão de Consistência (RC), que representa a medida do erro cometido pelo decisor como um indicador de grau de consistência ou inconsistência. Reflete a probabilidade dos julgamentos matriciais terem sido gerados aleatoriamente (Park et al., 2011), sendo que este valor deverá ser inferior a 10% para validar o modelo.

3.2.5. Normalização dos critérios

Uma vez que todos os critérios utilizados possuem unidades diferentes, foi necessário normalizar os mesmos de forma a possibilitar os processos de cálculo e sobreposição entre critérios. A normalização uniformiza as unidades de medida, fazendo com que os fatores ou critérios percam a sua dimensão relativamente à sua unidade de medida (Effat et al., 2013).

Após ponderação, os critérios foram normalizados numa escala numérica entre 0 e 100, de acordo com o grau de aptidão de cada critério, de acordo com a equação seguinte:

$$z_i = \frac{x_i - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \times 100 \quad (\text{Equação 3.1})$$

3.2.6. A carta de aptidão técnico-económica para conversão em MPB

Após reclassificação, ponderação e normalização todos os critérios, estes foram multiplicados recorrendo à ferramenta calculadora de dados espaciais “*raster calculator*” do *ArcGIS Pro* por cada dimensão. Isto permitiu que criar mapas temáticos por dimensão, que após sobreposição dos mesmos, gerou-se o mapa com as áreas de maior aptidão técnico-económica para conversão em MPB.

Quadro 3. 4 – Classes de aptidão atribuídas e sua reclassificação

Faixa de Classificação (0 - 100)	Classe de Aptidão
> 85	Muito Boa
75 – 85	Boa
65 – 75	Moderada
50 – 65	Reduzida
0 – 50	Muito Reduzida
0	Nula

3.3. Identificação, avaliação e distribuição da quantidade e a explorabilidade de subprodutos e resíduos orgânicos

Numa perspectiva de bioeconomia circular a biomassa residual, também designada como subprodutos e/ou resíduos orgânicos, apresenta-se como o elemento mais importante do conceito, onde, para além da quantidade, a sua qualidade, tipologia e disponibilidade são de extrema importância (Kardung et al., 2021). Deste modo, foi definida uma categorização dos resíduos orgânicos e subprodutos com potencial de valorização orgânica na área de estudo, seguida da sua avaliação e distribuição. Posteriormente foram selecionados resíduos e subprodutos com permissão para utilização como matérias fertilizantes em AB e finalizando com a sua quantificação e análise de explorabilidade dos mesmos resíduos orgânicos autorizados em MPB.

Numa primeira fase pretendeu-se identificar e cartografar resíduos orgânicos e subprodutos de diferentes indústrias e setores que permitissem elaborar mapas que indiquem a distribuição e disponibilidade dos mesmos na região do Alto Minho. Para tal, foram utilizadas diferentes bases de dados combinadas com técnicas de geoespacialização.

Existem diversos métodos para categorização de biomassas residuais, sendo que os mais comuns são baseados na sua origem (Casau et al., 2022). Nesta investigação os resíduos foram divididos de acordo com três grandes origens, entre elas Agroflorestal, Industrial e Urbana e subsequentemente em categorias, fontes e tipologias de resíduos específicas de acordo com o código da Lista Europeia de Resíduos (LER) (Quadro 3. 5).

Na LER, publicada na Decisão da Comissão 2014/955/UE, o Regulamento (UE) n.º 1357/2014, e o Regulamento (UE) n.º 2017/997 (os quais publicam as características de perigosidade dos resíduos), são elencados e relacionados todos os diplomas legais aplicáveis à classificação de resíduos. Um dos principais objetivos das políticas de resíduos passa por garantir que os resíduos têm um fim adequado e o menos nefasto para a saúde

humana e para o ambiente, sendo fundamental que os resíduos sejam devidamente classificados e separados na origem (APA, 2020). Com base nestes documentos legais e outros elementos relevantes, a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) em articulação com outras entidades, elaborou o “Guia de Classificação de Resíduos” de forma a clarificar o processo de classificação de resíduos, de acordo com a legislação aplicável, constituindo um documento de apoio aos produtores de resíduos (APA, 2020).

A identificação de potenciais geradores de resíduos orgânicos apresenta por base diversas fontes de dados, desde a carta de uso e ocupação do solo (COS2018) da Direção Geral do Território (DGT), a Base Geográfica de Referenciação de Informação (BGRI2021) do Instituto Nacional de Estatística (INE), bases de dados geocodificadas do tecido empresarial e da carta social Intermunicipal da área de estudo, ambas pertencentes à Comunidade Intermunicipal do Alto Minho (CIM Alto Minho), base de dados da rede de escolas do Instituto de Gestão Financeira da Educação e por último, bases de dados geocodificadas das Águas do Norte e Águas do Alto Minho (AdAM).

Quadro 3. 5 – Caracterização de diversas tipologias de resíduos orgânicos por código LER

Origem	Categoria	Fonte	Tipo de Resíduo	Código LER	Fonte de Dados
Agroflorestal	Agrícola	Explorações Agrícolas	Resíduos de tecidos vegetais	02 01 03	CIM Alto Minho; COS2018
	Pecuária	Explorações Pecuárias	Fezes, urina e estrume de animais (incluindo palha suja) e efluentes recolhidos separadamente	02 01 06	CIM Alto Minho
	Silvícola	Silvicultura	Resíduos silvícolas	02 01 07	CIM Alto Minho; COS2018
Industrial	Agroalimentar	Culturas agrícolas	Lamas de lavagem, limpeza, descasque, centrifugação e separação	02 03 01	CIM Alto Minho
			Matérias impróprias para consumo ou processamento	02 03 04	
	Indústria de Lacticínios	Indústria de Lacticínios	Matérias impróprias para consumo ou processamento	02 05 01	CIM Alto Minho
			Lamas do tratamento local de efluentes	02 05 02	
	Agroalimentar	Matadouros, Pescas e Indústrias de Processamento de carne e Peixe	Resíduos de tecidos animais	02 02 02	CIM Alto Minho
			Lamas provenientes da lavagem e limpeza	02 02 01	
			Matérias impróprias para consumo ou processamento	02 02 03	
			Lamas do tratamento local de efluentes	02 02 04	
	Indústria de panificação, pastelaria e confeitaria	Indústria de panificação, pastelaria e confeitaria	Matérias impróprias para consumo ou processamento	02 06 01	CIM Alto Minho
			Lamas do tratamento local de efluentes	02 06 03	
	Indústria de bebidas alcoólicas e não alcoólicas	Produção de bebidas alcoólicas e não alcoólicas	Resíduos da lavagem, limpeza e redução mecânica das matérias-primas (bagaço e engaço)	02 07 01	CIM Alto Minho; CVRVV
			Resíduos da destilação de bebidas espirituosas	02 07 02	
Matérias impróprias para consumo ou processamento (bagaço e engaço de uva)			02 07 04		
Lamas do tratamento local de efluentes			02 07 05		
Florestal	Indústria do papel e pasta de papel	Resíduos do descasque de madeira e resíduos de madeira	03 03 01	CIM Alto Minho	
		Lamas do tratamento local de efluentes	03 03 11		
	Processamento de madeira e fabrico de mobiliário	Processamento de madeira e fabrico de mobiliário	Resíduos do descasque de madeira e de cortiça Serradura, aparas, fitas de aplainamento, madeira, aglomerados e folheados	03 01 01 03 01 05	CIM Alto Minho

Origem	Categoria	Fonte	Tipo de Resíduo	Código LER	Fonte de Dados
		Instalações de combustão de biomassa	Cinzas, escórias e poeiras de caldeiras	10 01 01	CIM Alto Minho
Urbana	Alimentar	Frações recolhidas seletivamente (Habitações, unidades de fornecimento de refeições e de retalho)	Resíduos Alimentares (Resíduos biodegradáveis de cozinhas e cantinas)	20 01 08	BGRI2021; CIM Alto Minho; GesEdu
		Outros resíduos urbanos e equiparados	Resíduos de mercados	20 03 02	CIGESA
	Verdes	Jardins e parques, cemitérios e instalações desportivas	Resíduos Verdes	20 02 01	COS2018
	Lamas	Estações de Tratamento de Águas Residuais	Lamas do tratamento de águas residuais urbanas	19 08 05	Águas do Norte e AdAM

3.3.1. Resíduos de origem agroflorestal

Nesta investigação, os resíduos agroflorestais encontram-se associados sobretudo a resíduos gerados no terreno, sendo que foram divididos em três categorias, entre elas agrícola, pecuária e silvícola. Os potenciais geradores de resíduos desta origem foram extraídos da COS2018 no que se refere às áreas ocupadas por culturas agrícolas potenciais geradoras de resíduos de tecidos vegetais (podas de Vinhas, Pomares e Olivais), áreas florestais e de matos, bem como de explorações agrícolas, pecuárias e empresas da área da silvicultura identificadas na base de dados do tecido empresarial da CIM Alto Minho. Esta última, possui informação bastante detalhada acerca do tecido empresarial, nomeadamente o setor de atividade, a Classificação Portuguesa de Atividades Económicas (CAE) e a correspondente descrição da atividade económica de cada entidade jurídica. Estes detalhes de informação permitiram uma melhor categorização de potenciais geradores de resíduos orgânicos quanto à sua fonte e tipologia.

Relativamente à categoria agrícola são considerados essencialmente resíduos sólidos primários gerados naturalmente nas atividades agrícolas (Dey et al., 2021; Rowan et al., 2022). Estes resíduos primários são frequentemente produzidos durante as colheitas, consistindo em resíduos de tecidos vegetais diversos.

Relativamente à categoria pecuária são incluídos resíduos associados às explorações pecuárias, ou seja, material de camas dos animais como fezes, urina e estrume de animais (incluindo palha suja), assim como efluentes pecuários recolhidos separadamente. Estas explorações pecuárias foram extraídas da base de dados do tecido empresarial da CIM Alto Minho. A categoria silvícola centra-se sobretudo nos resíduos silvícolas resultantes da limpeza e manutenção de matos e florestas.

3.3.2. Resíduos de origem industrial

Para os resíduos industriais foram consideradas duas categorias: a categoria agroalimentar e a categoria florestal. As fontes de dados de ambas as categorias foram a base de dados geocodificada da CIM Alto Minho, com exceção das empresas referentes aos produtores/engarrafadores de vinhos, que, neste caso, foram extraídos do site da Comissão de Viticultura da Região dos Vinhos Verdes (CVRVV).

Na categoria agroalimentar englobamos todo o tipo de resíduos resultantes do processamento de produtos agrícolas ou animais para consumo humano, bem como de subprodutos do processamento desses alimentos. Em contraste com os resíduos agrícolas de origem agroflorestal, estes são considerados resíduos secundários, uma vez que são produzidos durante ou após processamento. Existem inúmeras fontes deste tipo de resíduos, desde a indústria de processamento de produtos agroalimentares, carne, peixe (e pescas), indústria de laticínios, panificação, produção de bebidas alcoólicas e não alcoólicas, entre outras. A categoria florestal, à semelhança da categoria agroalimentar, engloba resíduos gerados nas fases de processamento das matérias-primas, neste caso, resíduos resultantes do processamento de madeira. As fontes mais comuns para a geração deste tipo de resíduos são a indústria de papel e pasta de papel e a indústria de processamento de madeira, serrações e fabrico de mobiliário.

3.3.3. Resíduos de origem urbana

Nesta investigação, a análise dos resíduos orgânicos de origem urbana, que consistem na fração biodegradável dos RU, inclui os resíduos alimentares, resíduos verdes resultantes na manutenção de parques e jardins públicos e domésticos e lamas de depuração de ETAR. Deste modo, estes foram divididos em três categorias, das quais a categoria Alimentar, Verdes e Lamas.

A identificação de potenciais geradores de resíduos de origem urbana teve como fontes de dados a BGRI2021, as bases de dados geocodificadas referentes ao tecido empresarial e à carta social da CIM Alto, e à base de dados da rede de escolas, a COS2018 e as bases de dados geocodificadas das Águas do Norte e AdAM.

Tal como o nome indica, a categoria alimentar abrange resíduos alimentares. Apesar desta categoria de resíduos poder ser gerada em vários níveis da cadeia de abastecimento, neste caso iremos abordar apenas os resíduos gerados na última fase da cadeia de abastecimento, designadamente, resíduos alimentares provenientes de habitações, unidades de fornecimento de refeições e de retalho. A categoria dos Verdes consiste em resíduos urbanos lignocelulósicos, resultantes essencialmente da limpeza e manutenção de espaços verdes como de jardins, parques, cemitérios e instalações desportivas. A categoria das Lamas diz respeito apenas às lamas de depuração geradas em ETAR.

3.3.3.1. Quantificação do potencial de produção de biorresíduos com origem nos RSU

A fração biorresíduos considera resíduos alimentares, resíduos verdes e outros resíduos putrescíveis de diversas proveniências. De acordo com a DQR e o RGGR, os resíduos alimentares de cozinhas e habitações constituem uma das tipologias de biorresíduos com origem nos RSU. Nesta investigação para efeitos de quantificação assumiu-se que os biorresíduos referem-se à tipologia de resíduos com o código LER 20 01 08.

O recurso ao Relatório Anual de Resíduos Urbanos de 2021 (RARU 2021), elaborado pela APA, permitiu extrair, quantificar e mapear o potencial de produção de biorresíduos com origem nos RSU. O RARU 2021 permitiu compilar e documentar a informação sobre a gestão de resíduos urbanos no ano de 2021, assim como evidenciar o ponto de situação atual por Sistema de Gestão de Resíduos Urbanos (SGRU) (APA, 2022). Na área de estudo operam atualmente dois SGRU:

- i. Valorminho: com uma área de abrangência nos municípios de Caminha, Melgaço, Monção, Paredes de Coura, Valença e Vila Nova de Cerveira;
- ii. Resulima: com uma área de abrangência nos municípios de Arcos de Valdevez, Barcelos, Esposende, Ponte da Barca, Ponte de Lima e Viana do Castelo. De realçar que os municípios de Barcelos e Esposende não foram incluídos nesta investigação.

No RARU 2021, para além da quantidade total de RU produzidos por SGRU, encontram-se igualmente associado a cada SGRU os valores da caracterização física dos RU, incluindo-se aqui a percentagem alusiva aos biorresíduos (Figura 3. 3 e Figura 3. 4). Importa mencionar que esta percentagem diz respeito à totalidade de biorresíduos que chegam às instalações destes SGRU, seja por recolha seletiva ou indiferenciada.

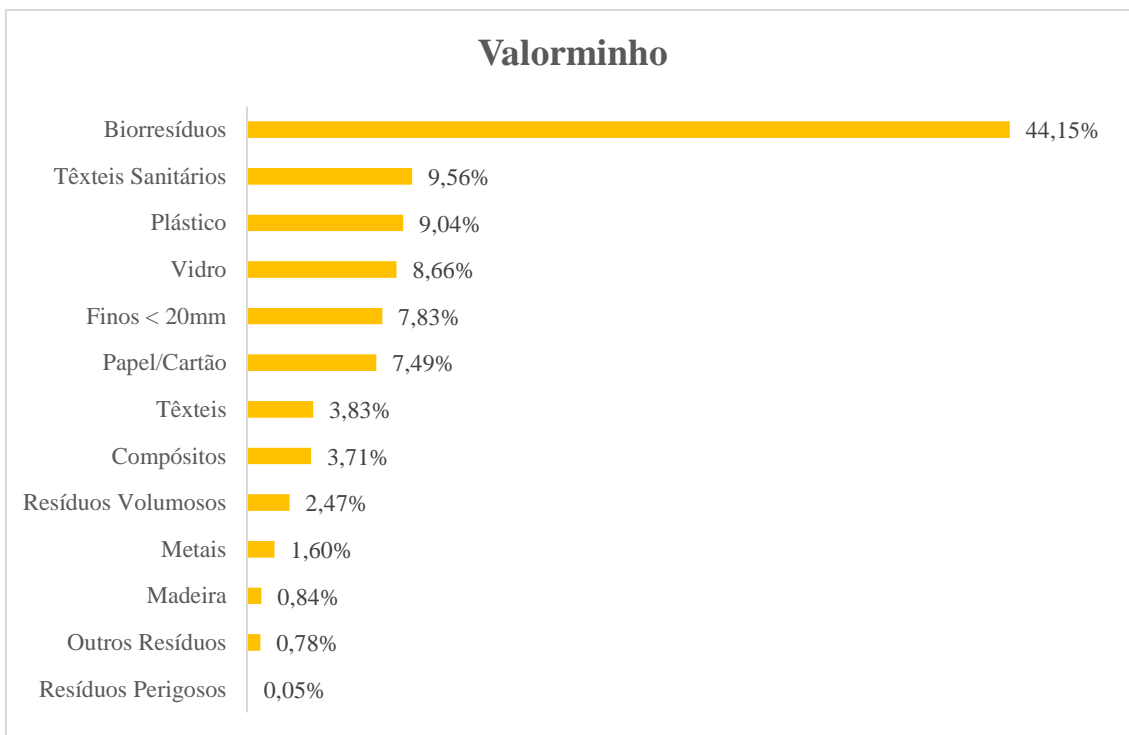


Figura 3. 3 - Caracterização física dos RU produzidos na Valorminho. Adaptado de (APA, 2022).

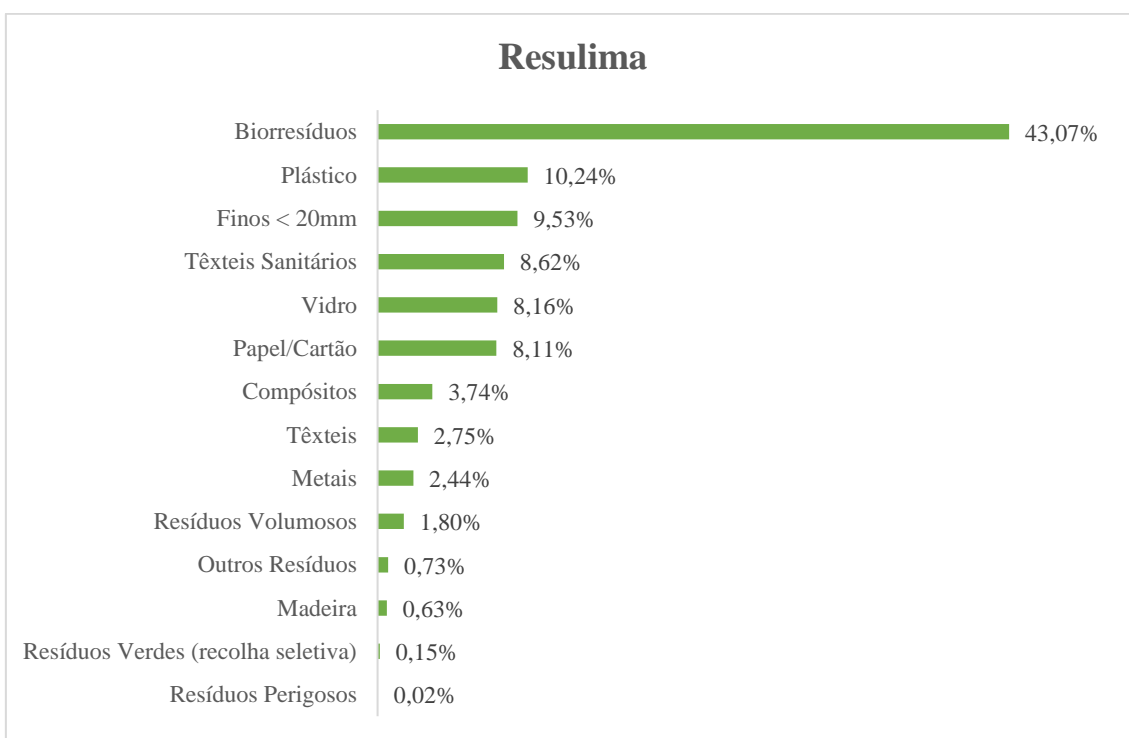


Figura 3. 4 – Caracterização física dos RU produzidos na Resulima. Adaptado de (APA, 2022).

Dada a componente doméstica desta tipologia de resíduos orgânicos, foi necessário associar os dados da população da área de estudo. Para tal, foi utilizada a Base Geográfica de Referenciação de Informação (BGRI 2021), constituída no âmbito dos Censos 2021. A BGRI constitui o seccionamento estatístico do território nacional através de uma estrutura hierárquica poligonal constituída por secções e subsecções estatísticas, de suporte à recolha direta de dados dos Censos e à divulgação de informação estatística censitária georreferenciada (INE, 2022). As subsecções estatísticas traduzem-se como as unidades elementares da BGRI e representam unidades territoriais que correspondem a áreas contínuas de uma única freguesia com um número médio de alojamentos e delimitadas, sempre que possível, por eixos de via classificados com toponímia ou outros elementos facilmente identificáveis no terreno. São definidas em função de critérios como a contiguidade geográfica, o número de alojamentos e a própria metodologia de recolha dos Censos (INE, 2022).

Deste modo, através do cruzamento dos dados do RARU 2021 e da BGRI 2021 foi possível calcular as capitações associadas a cada um dos SGRU's que operam dentro da área de estudo através da fórmula seguinte:

$$Capitação \left(\frac{kg}{hab.ano} \right) = \frac{(Produção\ anual\ de\ RU\ (ton) \times \% \ de\ Biorresíduos)}{População\ (hab)} \times 1000 \left(\frac{kg}{ton} \right)$$

(Equação 3.2)

Quadro 3. 6 – Capitações de biorresíduos por SGRU

SGRU	Produção RU (ton)	População (hab)	Biorresíduos (%)	Capitação (kg/(hab.ano))
Valorminho	38260	72571	44,15%	232,8
Resulima	144720	310626	43,07%	200,7

Reunidas as capitações para os biorresíduos em cada SGRU, assumiu-se a mesma capitação para todos os municípios abrangidos em cada SGRU. Posteriormente, calculou-se o potencial de produção de biorresíduos, multiplicando as capitações pelo número de habitantes afeto a cada subsecção estatística da BGRI.

Por forma a limitar o potencial de produção de biorresíduos aos locais onde efetivamente habitam pessoas, através da COS2018 foram extraídas as áreas referentes ao tecido edificado, mais concretamente ao: 1.1.1.1. Tecido Edificado Contínuo Predominantemente Vertical; 1.1.1.2. Tecido Edificado Contínuo Predominantemente Horizontal; 1.1.2.1. Tecido Edificado Descontínuo. Após sobreposição destes dados do

tecido edificado e do potencial de produção de biorresíduos, obteve-se o potencial de produção de biorresíduos limitado ao tecido edificado. Esta análise permite uma melhor percepção da explorabilidade deste tipo de resíduo.

3.4. Seleção de resíduos e subprodutos que possam ser utilizados como matérias fertilizantes em AB

Nesta investigação foram identificados diversos produtores de resíduos orgânicos com potencial para constituírem recursos que possam ser utilizados como matérias fertilizantes em AB. Nem todos os produtores ou tipologias de resíduos orgânicos se encontram em conformidade com a legislação comunitária que rege os fertilizantes, corretivos do solo e nutrientes autorizados em AB (Comissão Europeia, 2021). Porém, muitos deles poderão ser considerados matérias-primas autorizadas em AB como fertilizantes ou no fabrico de fertilizantes comerciais (Comissão Europeia, 2021) (Quadro 3. 7). De realçar que a correspondência entre os códigos LER identificados para os potenciais geradores de resíduos orgânicos e os fertilizantes, corretivos de solo e nutrientes autorizados em MPB nem sempre é imediata. Frequentemente, esta relação, requer a implementação de processos de valorização adequados, que devem estar em conformidade com as condições e limites específicos presentes na legislação em vigor (Comissão Europeia, 2021; Conselho, 2019).

Quadro 3. 7 – Relação entre o código LER e as matérias-primas autorizadas em AB como fertilizantes ou no fabrico de fertilizantes comerciais (Comissão Europeia, 2021).

Origem	Categoria	LER	Fertilizantes, corretivos do solo e nutrientes autorizados
Agroflorestal	Agrícola e Silvícola	02 01 03; 02 01 07	Produto da compostagem ou fermentação de misturas de matérias vegetais
			Turfa
			Resíduos de culturas de cogumelos
			Misturas de excrementos de minhocas (lombricomposto) e de substrato de excrementos de insetos
			Serradura e aparas de madeira
			Cascas de árvore compostadas
			Biocarvão
			Estrume
			Estrume seco e estrume de aves de capoeira desidratado
			Excrementos compostados de animais, incluindo o estrume de aves de capoeira e estrumes compostados
Pecuária	02 01 06	Excrementos líquidos de animais	
		Digerido proveniente da produção de biogás obtido por codigestão de subprodutos de origem animal com matérias de origem vegetal ou animal	

Origem	Categoria	LER	Fertilizantes, corretivos do solo e nutrientes autorizados	
Industrial	Agroalimentar	02 02 01;	Digerido proveniente da produção de biogás obtido por codigestão	
		02 02 02;	de subprodutos de origem animal com matérias de origem vegetal	
		02 02 03;	ou animal	
		02 02 04;	Produtos ou subprodutos de origem animal: Farinha de sangue,	
		02 05 01;	cascos, chifres, ossos, peixe, carne, penas, pelos e de aparas de	
	02 05 02	pele; Lã, Pele com pelo; Pelo; Produtos lácteos; Proteínas		
			hidrolisadas	
			Resíduos de moluscos	
			02 03 01;	Produto da compostagem ou fermentação de misturas de matérias
			02 03 04;	vegetais
		02 06 01;		
		02 06 03;	Produtos e subprodutos de origem vegetal para fertilizantes	
		02 07 01;		
		02 07 02;		
		02 07 04;	Cascas de ovos	
		02 07 05		
Florestal		03 01 01;	Produto da compostagem ou fermentação de misturas de matérias	
		03 01 05;	vegetais	
		03 03 01;	Serradura e aparas de madeira	
		03 03 11	Cascas de árvore compostadas	
			Biocarvão	
		10 01 01	Cinzas de madeira	
Urbana	Alimentar	20 01 08;	Misturas de resíduos domésticos compostadas ou fermentadas	
		20 03 02	Misturas de excrementos de minhocas (lombricomposto) e de substrato de excrementos de insetos	
	Verdes		20 02 01	Produto da compostagem ou fermentação de misturas de matérias vegetais
				Misturas de excrementos de minhocas (lombricomposto) e de substrato de excrementos de insetos
Lamas		19 08 05	Matéria não autorizada em MPB	

3.5. Otimização da localização de áreas com aptidão para conversão em MPB em função da disponibilidade de resíduos orgânicos para valorização em agricultura biológica

Considerando o inegável valor agronómico dos biorresíduos após devidamente recolhidos, tratados e valorizados em compostos orgânicos de qualidade superior e privilegiando os circuitos curtos de produção e consumo procedeu-se à otimização da localização das áreas com aptidão para conversão em MPB em função da disponibilidade de biorresíduos.

3.5.1. Identificação de operadores de gestão de biorresíduos e produtores de composto orgânico

Partindo do pressuposto que os processos de recolha seletiva de biorresíduos irão confluir até às instalações de um ou mais operadores de gestão de resíduos (OGR),

procedeu-se à investigação dos mesmos em função da área de estudo e da tipologia de resíduos orgânicos selecionada nesta investigação.

Através do Sistema de Informação do Licenciamento de Operações de Gestão de Resíduos (SILOGR) disponibilizada pela APA, foram consultados os operadores de resíduos na área de estudo, que procedessem a qualquer tipo de operação de gestão de resíduos, neste caso específico de resíduos biodegradáveis de cozinhas e cantinas (20 01 08). Os resultados da investigação remontaram para apenas dois operadores: a FERTIL.COM – Gestão e Valorização de Resíduos, Lda. e a Unidade da Resulima – Viana do Castelo (Aterro e Triagem). No entanto, dada a escassez ou inexistência de infraestruturas necessárias para o tratamento e valorização de biorresíduos, foram incluídas outras instalações nesta investigação por forma a permitir uma análise territorialmente mais ampla (Quadro 3. 8).

Quadro 3. 8 – Operadores e instalações de gestão de resíduos considerados

Operador	Tipo de Instalação	Código APA	Concelho
FERTIL.COM - Gestão e Valorização de Resíduos, Lda.	Unidade de Compostagem e Vermicompostagem	APA00141785	Ponte de Lima
Resulima - Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S. A.	Unidade da Resulima - Viana do Castelo (Aterro e Triagem)	APA00086901	Viana do Castelo
Resulima - Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S. A.	Estação de Transferência/Ecocentro	APA00086901	Arcos de Valdevez
Valorminho - Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos S.A.	Unidade da Valorminho (Aterro e Triagem)	APA00086466	Valença
Valorminho - Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos S.A.	Estação de Transferência/Ecocentro	APA00414163	Monção

3.5.2. Potencial técnico para recolha seletiva de biorresíduos

Uma vez que, segundo a legislação atualmente em vigor, a utilização desta tipologia de resíduos orgânicos como matérias-primas autorizadas em AB pressupõe a sua separação na origem, foi calculado o seu potencial técnico de produção a fim de se identificar os locais com maior potencial de recolha seletiva de biorresíduos nas subsecções estatísticas da BGRI. Por forma a diferenciar o potencial de produção de biorresíduos de um potencial técnico para recolha seletiva construíram-se indicadores e assumiram-se pressupostos tangentes à gestão de resíduos urbanos, nomeadamente:

- i. A densidade populacional (hab/km²);
- ii. A percentagem de “área urbana artificial”;
- iii. Produção diária estimada de biorresíduos (kg/dia).

Uma vez que a operacionalização de uma hipotética recolha seletiva não será preconizada ao nível da subsecção estatística, mas sim ao nível administrativo da freguesia, para a execução desta análise, as subsecções da BGRI foram agrupadas por freguesia.

A densidade populacional expressa a intensidade do povoamento de cada freguesia e foi calculada através do rácio entre a população (nº de habitantes) e a área de cada freguesia (km²).

Dada a natureza urbana desta tipologia de resíduo orgânico e considerando que uma hipotética recolha seletiva não será implementada na totalidade da área da freguesia, mas apenas onde existam áreas urbanas, existiu a necessidade de criar um indicador que traduza a intensidade da produção de biorresíduos por unidade de área. Assim, o indicador alusivo à percentagem de “área urbana artificial” corresponde às áreas de cada freguesia onde, efetivamente, a grande maioria dos biorresíduos são gerados, sendo estes locais os mais viáveis para proceder à recolha desta tipologia (EY, 2019). A AUA corresponde às seguintes classes de ocupação e uso do solo apresentadas na COS 2018: 1.1. Tecido Edificado; 1.2.1. Indústria; 1.2.2. Comércio; 1.3. Infraestruturas; 1.4. Transportes; 1.6. Equipamentos. O valor associado a cada freguesia foi calculado de acordo com a seguinte expressão:

$$\text{Área Urbana Artificial (\%)} = \frac{\text{Área Artificial da Freguesia (km}^2\text{)}}{\text{Área Total da Freguesia (km}^2\text{)}} \times 100 \quad \text{Equação 3.3}$$

Freguesias densamente povoadas e com altas percentagens de AUA serão logisticamente mais adequadas para implementação de um sistema de recolha seletiva. Pelo contrário, em freguesias com densidades populacionais e AUA baixas, a implementação de um sistema de recolha seletiva obrigará a custos logísticos superiores (para a recolha da mesma quantidade de biorresíduos), uma vez que os locais de recolha estarão mais dispersos no território abrangente.

Relativamente ao indicador “produção diária estimada de biorresíduos” estabeleceu-se um pressuposto que diferencie o potencial de produção da freguesia da produção diária estimada. Assim, assumimos as captações e o número de habitantes presente na BGRI que deram origem cálculo do potencial de produção de biorresíduos. Neste ponto, considerou-se que a população irá separar adequadamente 50% do que será potencialmente produzido em cada freguesia, ou seja, a taxa de captura de biorresíduos foi fixada a 50%.

Após definição dos indicadores e pressupostos técnicos, foram definidos os critérios que permitiram a seleção das freguesias com potencial de implementação de recolha seletiva de biorresíduos, nomeadamente:

- i. Densidade populacional igual ou superior a 100 hab/km²;
- ii. Percentagem de AUA igual ou superior a 10%;
- iii. Produção diária estimada de biorresíduos igual ou superior a 100 kg/dia.

Agregando estes critérios numa única seleção obtiveram-se as freguesias com maior potencial técnico para implementação de recolha seletiva de biorresíduos.

3.5.3. Alocação dos biorresíduos por OGR

Identificados e selecionados os OGR na área de estudo e apuradas as freguesias com maior potencial técnico para implementação de recolha seletiva de biorresíduos, procedeu-se à alocação destes biorrecursos pelos respetivos OGR através da extensão *Network Analyst* do *ArcGIS Pro*, mais especificamente através da *Location-Allocation Analysis*.

As diversas ferramentas disponibilizadas pela extensão *Network Analyst* beneficiam vários agentes e organizações, na medida em que permite a execução de operações com maior eficiência, tendo em consideração diversas dinâmicas atuais e/ou potenciais, melhorando todo o processo de tomada de decisões estratégicas (ESRI, 2022). A *Location-Allocation Analysis* e o “problema de p-medianas” permitem encontrar localizações ótimas de instalações, de modo a que o produto da distância (ponderada) e a impedância entre cada local de procura e a instalação mais próxima seja minimizado, permitindo igualmente testar e maximizar a cobertura (Church et al., 2018; ESRI, 2023b).

Nesta investigação em específico, as instalações (*facilities*) a introduzir na ferramenta foram os OGR selecionados e os locais de oferta (*demand points*) serão centroides das áreas correspondentes às freguesias com maior potencial técnico para implementação de recolha seletiva de biorresíduos. Cada centróide possui informação relativa à produção diária estimada de biorresíduos por freguesia, o que permitirá apurar a quantidade de resíduos que ficará alocada a cada OGR selecionado.

3.5.4. Acessibilidade de composto orgânico para Agricultura Biológica

Assumindo que as instalações selecionadas irão receber, tratar e valorizar os biorresíduos em compostos orgânicos de alta qualidade, adequados à AB, procedeu-se à análise da acessibilidade do mesmo. Essa análise consistiu na relação de dois critérios: (i) a distância a cada OGR e (ii) a quantidade de biorresíduos que ficará alocada a cada OGR.

Para isso, uma vez mais, recorrendo à extensão *Network Analyst* do *ArcGIS Pro*, desta vez através da *Service Area Analysis*, determinaram-se as “áreas de serviço” ao redor de cada OGR selecionado. Uma “área de serviço” em rede consiste numa área que abrange toda a rede viária que possa ser utilizada dentro de uma determinada distância ou tempo de viagem a partir de uma ou mais instalações, permitindo visualizar e medir a acessibilidade das respetivas instalações (ESRI, 2023a).

Quadro 3. 9 – Critérios usados na análise de acessibilidade

Critério	Análise Espacial	Reclassificação		
Distância aos OGR (km)		0 – 5	5	
			5 – 10	4
			10 – 20	3
	<i>Service Area Analysis; Export;</i>		20 – 30	2
	<i>Project; Clip;</i>		> 30	1
Quantidade alocada de Biorresíduos (t/ano)	<i>Polygon to Raster;</i>	< 1000	1	
	<i>Reclassify</i>	1000 – 2000	2	
		2000 – 3000	3	
		3000 – 5000	4	
		> 5000	5	

Assim, introduzidos os OGR selecionados como “*facilities*”, foram definidos cinco “*cutoffs*”, ou seja, cinco intervalos de distância de viagem das instalações. Por outro lado, foram igualmente associadas as quantidades de biorresíduos que ficarão alocadas a cada OGR através das respetivas áreas de serviço. Cada um destes critérios foi normalizado para o sistema de referência espacial ETRS89 TM06, convertido em formato *raster* com um tamanho de pixel de 10 m e reclassificado numa escala categórica de 1 a 5, onde 1 corresponde ao valor com menor acessibilidade e 5 ao valor com ótima acessibilidade.

A multiplicação dos critérios resultou na carta de acessibilidade de composto orgânico resultante da valorização orgânica de biorresíduos.

3.5.5. Aptidão para conversão em MPB em função da disponibilidade de composto orgânico

A otimização das áreas com aptidão para conversão em MPB considera a carta de aptidão técnico-económica para conversão em MPB e a carta de acessibilidade aos locais de produção de composto orgânico derivado da valorização de biorresíduos.

Uma vez que ambos os *rasters* foram reclassificados em escalas categóricas, foi elaborada uma matriz de aptidão baseada no conceito das tabelas de dupla entrada ou tabelas de contingência. Estas tabelas são formadas através do cruzamento de duas variáveis categóricas, formando uma matriz de tamanho “l x c” formada por “l” linhas contendo as categorias de uma variável na linha e “c” colunas contendo as categorias de outra variável na coluna (Cazorla et al., 2020).

Quadro 3. 10 – Matriz de relação entre a aptidão para a conversão em MPB e a acessibilidade a unidades de produção de composto

Aptidão para Conversão em MPB pela acessibilidade ao composto orgânico		Acessibilidade a unidades de produção de composto				
		Muito Baixa	Baixa	Moderada	Boa	Muito Boa
Aptidão para conversão em MPB	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula
	Muito Baixa	Muito Baixa	Muito Baixa	Muito Baixa	Baixa	Baixa
	Baixa	Muito Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Moderada
	Moderada	Baixa	Moderada	Moderada	Moderada	Boa
	Boa	Moderada	Moderada	Boa	Boa	Muito Boa
	Muito Boa	Moderada	Boa	Boa	Muito Boa	Muito Boa

Posto isto, ambas as cartas foram multiplicadas recorrendo à ferramenta ao “*raster calculator*” do *ArcGIS Pro*, o que permitiu que gerar o mapa final com as áreas de maior aptidão para conversão em MPB em função da acessibilidade aos locais de produção de composto orgânico.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados da (i) avaliação das áreas com aptidão técnico-económica para conversão em MPB, da (ii) identificação, avaliação e quantificação da distribuição e a explorabilidade de subprodutos e resíduos orgânicos e da (iii) otimização da localização de áreas com aptidão técnico-económica para conversão em MPB em função da facilidade de acesso de fertilizante orgânico, com base na metodologia apresentada no capítulo 3.

4.1. Avaliação das áreas com aptidão técnico-económica para conversão em MPB

Um conjunto de critérios e restrições foram selecionados para avaliar a aptidão natural, o esforço e facilidade de conversão e a distância e acesso aos mercados relativos à avaliação das áreas com aptidão técnico-económica para conversão em MPB.

4.1.1. Aptidão natural

Relativamente à aptidão natural e começando pelas características físicas do solo, verifica-se uma maior aptidão em solos mais desenvolvidos no que diz respeito a profundidade, teor de matéria orgânica e capacidade de retenção de água como é o caso dos antrossolos, cambissolos e fluvisolos, que representam cerca de um terço da área de estudo, situando-se predominantemente nos fundos dos vales ribeirinhos e em algumas zonas de planalto. Estas características e locais traduzem-se em fertilidades superiores relativamente a arenosolos, leptosolos e regossolos que são característicos por serem limitados para a agricultura e, portanto, serão solos menos desejáveis. Estes abrangem cerca de dois terços do território que coincidem com os locais de maior altitude, declive e conseqüente risco de erosão.

Territorialmente, as zonas de muito alto, alto e médio risco de erosão correspondem a igualmente a cerca de dois terços da área de estudo, sendo estes locais menos desejáveis para conversão em MPB na relação com as questões de conservação do solo e da retenção de água. A pedregosidade acompanha a tendência de teores mais elevados nos locais de maior altitude e declive, possuindo teores inferiores e agriculturalmente mais favoráveis nas regiões inferiores dos vales.

A análise das características bioquímicas do solo, em particular o pH, indica que a região apresenta solos ácidos. Assim, a distinção categórica aplicada ficou limitada pela

baixa amplitude de valores que varia entre 4,42 a 6,43. O pH ideal varia em função das culturas, sendo que a maioria das plantas prefere solos ligeiramente ácidos a neutros. Para além da sua importância intrínseca, a CTC possui uma estreita correlação com o teor de matéria orgânica no solo, pelo que solos com CTC elevada tendem a ser solos ricos em matéria orgânica. A área de estudo apresenta uma significativa gama de valores de CTC variando entre 2,63 e 15,89 cmol/kg.

Relativamente às características fisiográficas do solo, o declive possui uma influência crucial na análise da aptidão para conversão em MPB, bem como na aptidão agrícola em geral, não apenas pela sua influência em outros fatores desde a erosão, profundidade do solo, drenagem, como também na capacidade de mecanização dos mesmos, fator este cada vez mais preponderante para a sustentabilidade de qualquer exploração agrícola. A área de estudo apresenta elevado declive, principalmente nas áreas de montanha ou terços superiores da rede hidrográfica do distrito. Os locais com declives mais adequados para as práticas agrícolas situam-se nas margens e próximos da foz dos principais rios ou planaltos da região.

A exposição solar refere-se a um critério altamente subjetivo do tipo de cultura a implantar no local, existindo culturas agrícolas com necessidades de luz solar distintas ou com maior ou menor sensibilidade ao calor irradiado pelo sol. Porém, em termos gerais e globais, existe uma preferência por exposições solares a sul para culturas agrícolas no hemisfério norte. Assim, cerca de um terço da região possui exposições solares favoráveis (Sul, Sudeste e Sudoeste) e quase 40% do território com exposições menos adequadas (Norte, Nordeste e Noroeste).

A altitude influencia os fenómenos meteorológicos, o clima, o escoamento, o balanço hídrico e, por essa via, a fertilidade do solo. Em altitudes mais elevadas os solos são frequentemente menos desenvolvidos e conseqüentemente menos férteis e mais exigentes a nível de práticas culturais e com inúmeras limitações logísticas. Apesar do território possuir altitudes bastante elevadas, mais de 2 terços do mesmo encontra-se entre os 10 e os 500 m de altitude sendo estes locais aqueles com melhor aptidão agrícola de acordo com este critério.

A sobreposição por multiplicação dos critérios de fertilidade física e bioquímica na relação com a fisiografia, ponderado pela AHP indicou, (i) uma elevada aptidão em locais de baixa a média altitude, sobretudo ao longo dos principais rios da região,

destacando-se também algumas zonas de planaltos interiores; (ii) e de menor aptidão, os solos esqueléticos ou pseudosolos na relação com os elevados declives.

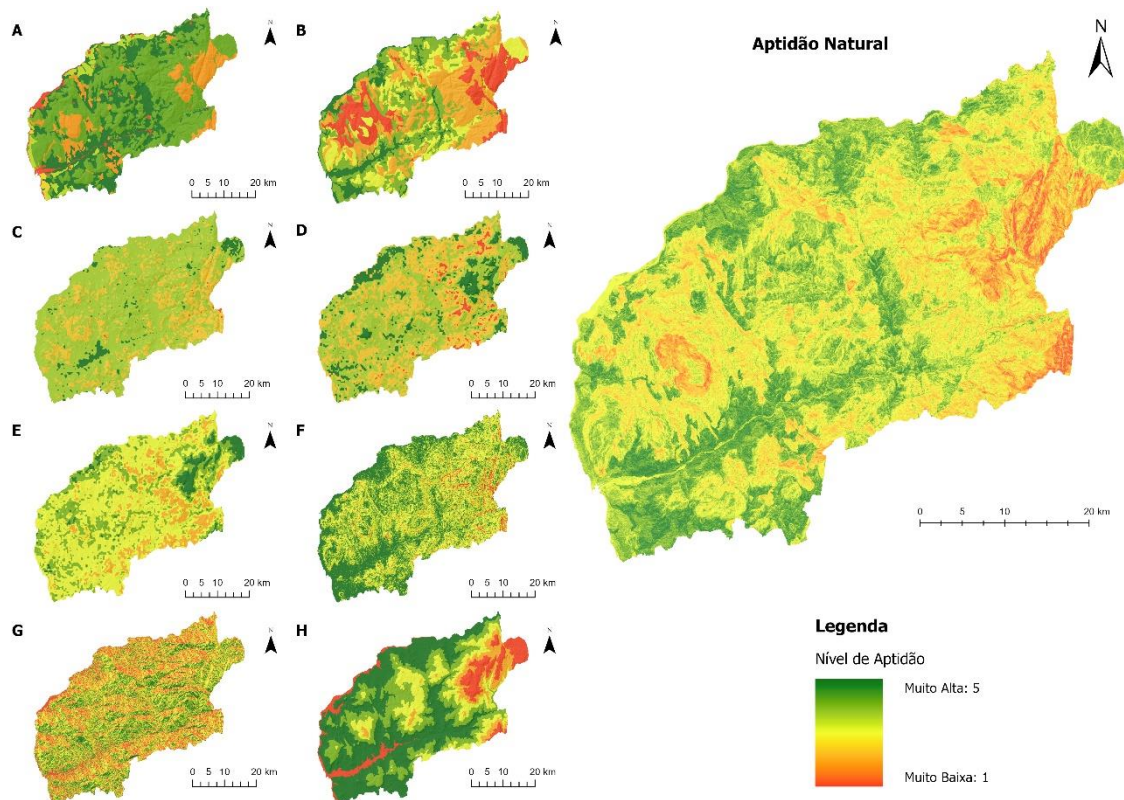


Figura 4. 1 – Critérios considerados e avaliação da cartografia de aptidão natural. A) Tipos de Solos; B) Risco de Erosão; C) Pedregosidade; D) pH; E) CTC; F) Declive; G) Exposição Solar; H) Altimetria

4.1.2. Esforço e facilidade de conversão em MPB

A análise de classes de uso e ocupação de mais alargadas presentes na COS2018 e as ocupações culturais mais focadas na agricultura do iSIP2021 permitiram apurar facilidades ou condicionantes de uso e ocupação com implicações no esforço e facilidade à conversão de terras para o MPB. Considerando os parâmetros de esforço de transformação da terra e intensidade do uso do solo, obtêm-se uma visão detalhada e multifacetada sobre a gestão de terras agrícolas, o que adquire uma dimensão adicional quando enquadrada no contexto de avaliação do esforço, capacidade e condicionantes de conversão em MPB.

A intensidade do uso do solo traduz a frequência, concentração e intensidade das práticas humanas e agrícolas em particular. Este critério consiste numa medida indireta da utilização de fatores de produção agrícolas como fertilizantes e fitofármacos. Estes

pressupostos podem resultar em maior pressão dos recursos do solo. As práticas de conservação do solo e água visam limitar a sua degradação, preservando a sua integridade ecológica e fertilidade a longo prazo.

A extensão de áreas com menor intensidade de uso, como áreas de matos e florestas, opõem-se às áreas com horticultura intensiva, culturas de vinha e a outras culturas permanentes, que são locais onde a aplicação de fitofármacos é uma prática recorrente e que limita a possibilidade de certificação em MPB no curto prazo.

O esforço de transformação da terra aborda as dificuldades técnicas, os recursos necessários e elevado custo para converter um terreno natural num espaço apto para a agricultura. As atividades de preparação do terreno que vão desde a remoção de vegetação nativa (em particular com espécies exóticas ou invasoras), as modificações da topografia, melhoria da qualidade física e química do solo (adubação e/ou correções de pH, entre outros), influenciam os desafios e custos associados à certificação de terras para a AB. Inversamente ao critério anterior, os locais com maior facilidade à conversão para MPB na ótica do esforço de transformação do solo serão as unidades, áreas e prédios com atividades agropecuárias já estabelecidas.

Em sentido inverso, a proximidade a explorações pecuárias sem terra, oferece uma perspetiva importante sobre as interações ambientais e os riscos de contaminação cruzada do solo e das culturas agrícolas por resíduos de agroquímicos, antibióticos e outros fatores de produção utilizados na pecuária convencional que poderão comprometer a certificação de determinada parcela agrícola em MPB. De acordo com os dados obtidos, na área de estudo existem 40 explorações de gado bovino sem terra com produção de chorume, com efetivos superiores a 20 animais que permanecem nas instalações. A localização destas explorações é relativamente próxima e limitada a locais muito específicos a nível regional.

A facilidade e o esforço de conversão foi gerado através da sobreposição destes três critérios ponderados através da AHP. Os resultados indicam que a maioria do território apresenta facilidade para a conversão em MPB a curto prazo.

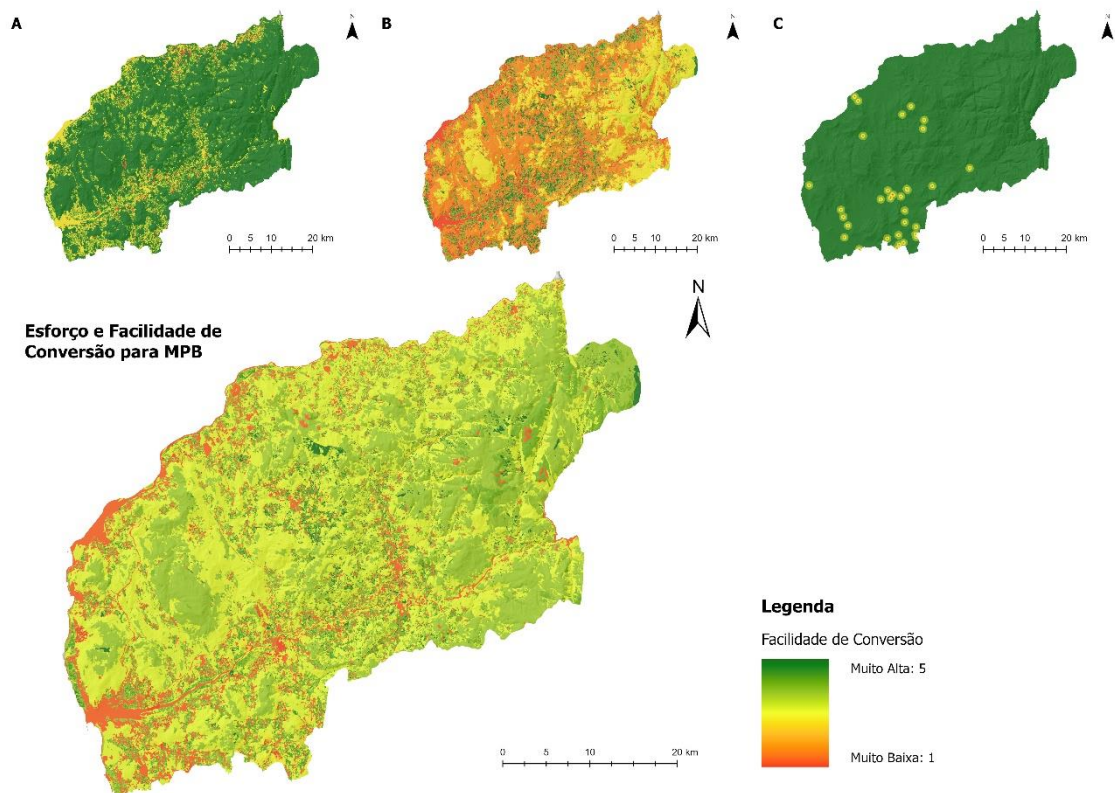


Figura 4. 2 – Critérios que condicionam o esforço e a facilidade de conversão em MPB. A) Intensidade do uso do solo; B) Esforço de transformação da terra; C) Distância a explorações de gado sem terra com produção de chorume

4.1.2.1. Condicionantes técnicas e legais à conversão

A carta de condicionantes técnicas e legais à conversão sobrepõe os critérios transversais às três categorias de análise do modelo multicritério (aptidão natural, esforço e facilidade de conversão e distância e acesso aos mercados). Para esses critérios consideram-se locais inaptos, as áreas que possuísem uma reclassificação categórica nula no processo de reclassificação. As áreas classificadas como territórios artificializados, zonas costeiras, zonas húmidas e massas de água superficiais, assim como uma zona tampão em relação aos eixos das vias de comunicação impossibilitam a conversão para o MPB.

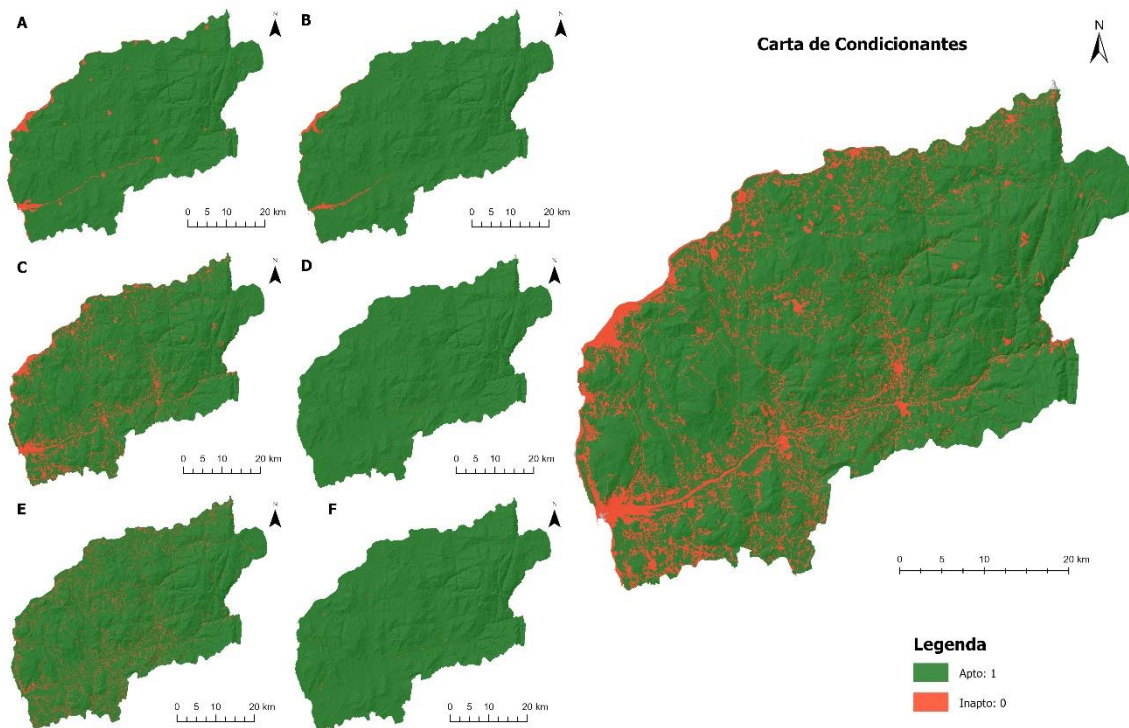


Figura 4. 3 – Critérios de condicionamento técnico-legal à conversão em MPB. A) Tipos de solos; B) Altimetria; C) Uso e ocupação do solo (COS2018); D) Parcelas e ocupações do solo (iSIP2021); E) Distância à rede viária; F) Distância aos acessos de autoestradas e similares

4.1.3. Distância e acesso aos mercados

A distância e acesso aos mercados que se irá traduzir na viabilidade financeira a longo prazo de qualquer exploração agrícola foi analisada sobre uma perspetiva de acessibilidade e comercialização. No primeiro caso, considerando o critério da distância à rede viária local enfatiza-se a importância dos circuitos curtos de comercialização (CCC) e do consumo sazonal e local. A proximidade a vias locais facilita o acesso a mercados locais e comunidades próximas, promovendo a venda direta e a conexão entre produtores e consumidores. Esta estratégia está alinhada com os princípios da AB, que valoriza a sustentabilidade, a redução da pegada de carbono e a dinamização da economia local. A área de estudo encontra-se coberta por uma rede viária local densa, o que resulta em que a maioria do território possui bons acessos para a instalação de explorações de AB, com exceção das regiões mais montanhosas e inseridas ou próximas do PNPG.

A distância aos acessos às autoestradas e vias similares traduz-se num indicador da capacidade de expansão para mercados mais distantes. Este critério é crucial para tornar

explorações economicamente mais viáveis, na medida em que permite uma diversificação de mercados, alcançar um espectro mais amplo de consumidores, possibilitando escalar a produção sem comprometer os padrões biológicos. Apesar do território possuir uma boa cobertura de acessos a autoestradas e similares esta encontra-se conseqüentemente mais limitada aos concelhos com maior número de habitantes, sendo estes locais os mais aptos à instalação de explorações de AB.

Por fim, a distância a postos de venda de produtos biológicos, como mercados municipais e lojas especializadas reforça, uma vez mais, a importância dos CCC e do consumo local. Esta proximidade é fundamental para garantir a frescura e a qualidade dos produtos biológicos, além de fortalecer a relação entre produtores e consumidores conscientes, que valorizam modos de produção mais sustentáveis. Aqui, qualquer um dos dez municípios do distrito possui locais específicos para a comercialização deste tipo de produtos, o que tornará as áreas mais próximas aos núcleos urbanos como aquelas com maior aptidão para conversão em MPB.

Dada a forte correlação entre estes três critérios de cariz mais económico, a sua sobreposição sintetiza que os melhores locais situam-se na proximidade dos núcleos urbanos ou áreas periurbanas. As localidades marginais de baixa densidade e mais interiores carecem de um plano estratégico de melhoria de acesso ou atração regular/periódica da população através da organização de eventos, de forma a equilibrar a sua viabilidade de económica das explorações/unidades em MPB.

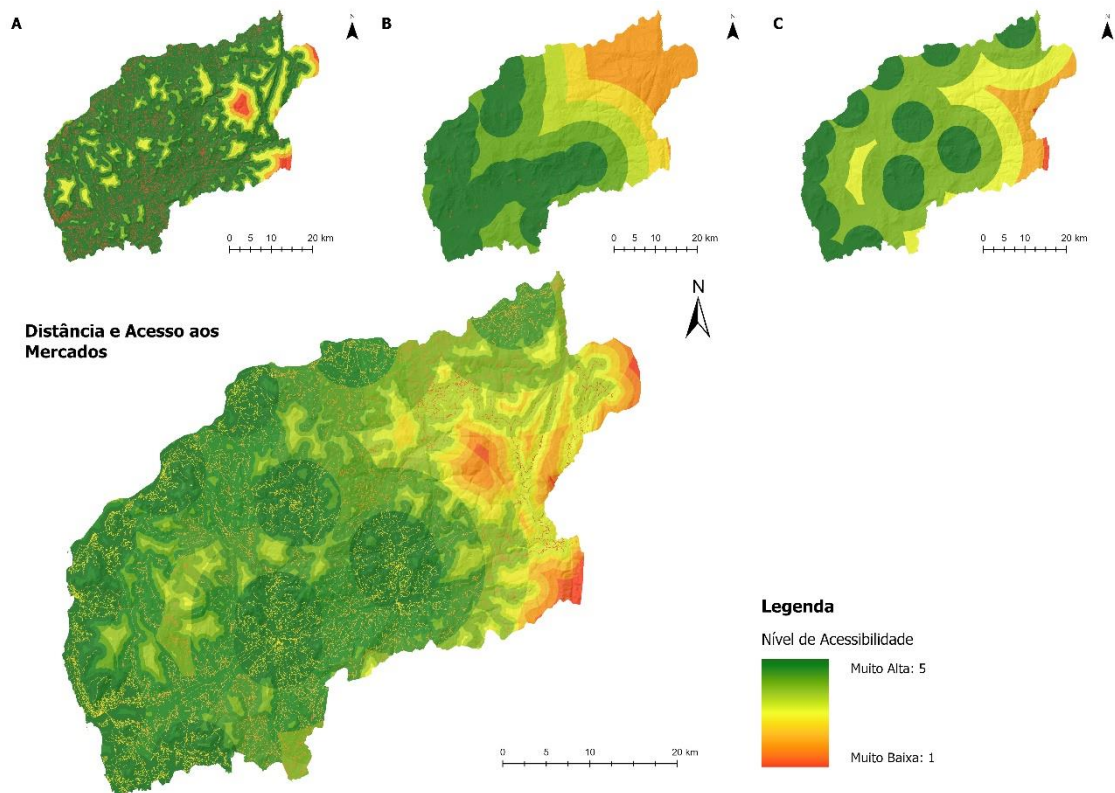


Figura 4. 4 – Critérios que condicionam a distância e acesso aos mercados. A) Distância a todas as vias de comunicação excluindo autoestradas e similares; B) Distância aos acessos de autoestradas e similares; C) Distância aos mercados municipais, lojas de produtos biológicos e produtores biológicos com venda no local

4.1.5. A Carta de aptidão técnico-económica para conversão em MPB

A sobreposição dos critérios e condicionantes de aptidão natural, esforço e facilidade de conversão e distância e acesso aos mercados permitiu obter a carta de aptidão técnico-económica para a conversão em MPB. Os resultados indicam que pouco mais de 25% da área de estudo possui boa a muito boa aptidão técnico-económica para conversão ao MPB. Estes locais situam-se maioritariamente nos vales, em zonas de baixa a média altitude e na proximidade dos núcleos populacionais mais densos. A maioria do território (cerca de 37%) possui aptidão moderada, sendo que estes locais correspondem a zonas de menor densidade populacional e maioritariamente a áreas silvopastoris. Por outro lado, 22,3% da área de estudo possui baixa ou muito baixa aptidão técnico-económica para conversão ao MPB, correspondendo estes locais a zonas de média a alta altitude, afastados nos núcleos urbanos e conseqüentemente com maiores limitações à produção/produtividade primária. Por fim, os resultados obtidos apontam que cerca de 15% do território não possui aptidão agrícola, estando estes locais confinados aos

territórios artificializados, vias de comunicação e rede hidrográfica com as suas respetivas zonas tampão, zonas costeiras e húmidas e zonas de montanha de rocha nua.

Neste caso, importa destacar que a presente análise de aptidão técnico-económica para conversão em MPB refere-se à produção vegetal e exclui a produção animal. Consequentemente, diversas áreas categorizadas como de aptidão muito baixa, baixa ou moderada sob uma ótica agrícola podem, de facto, apresentar um potencial significativamente mais elevado para a pecuária em MPB, particularmente em regimes extensivos

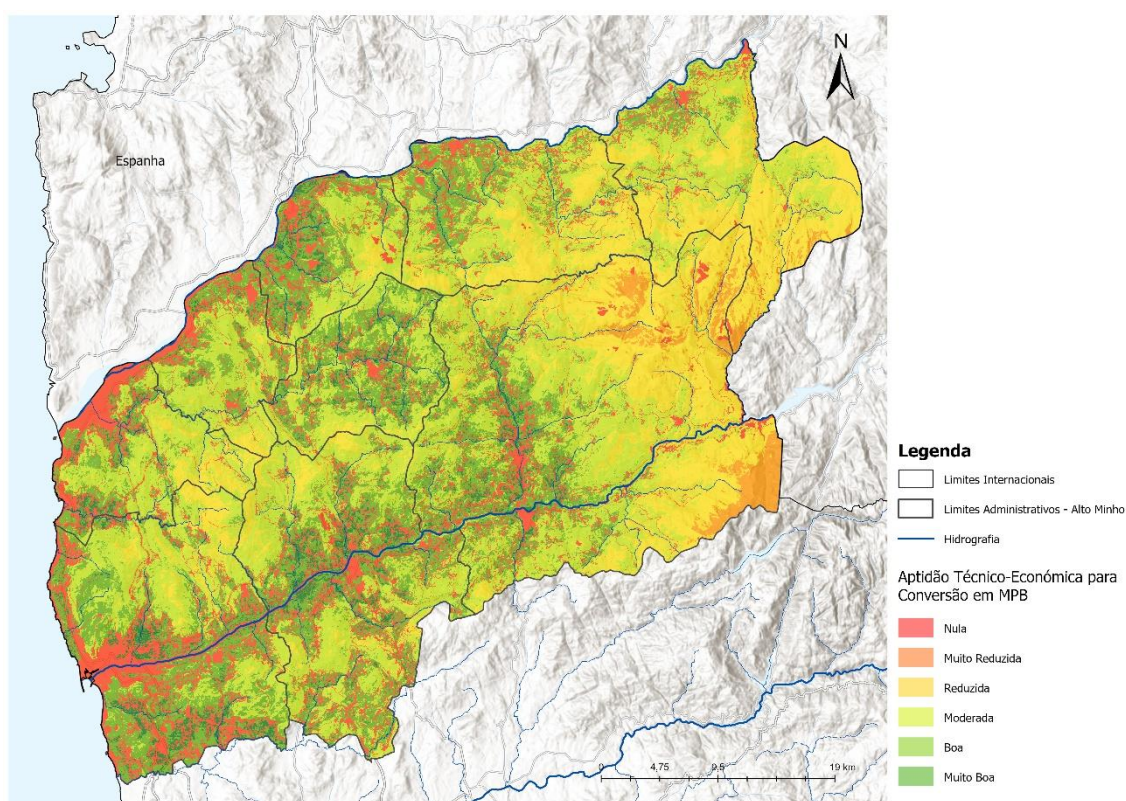


Figura 4. 5 – Carta de aptidão técnico-económica para conversão em MPB

Quadro 4. 1 – Distribuição percentual das classes de aptidão técnico-económica para a conversão em MPB

Classe de Aptidão	Distribuição percentual (%)
Muito Boa	3,63%
Boa	21,99%
Moderada	36,88%
Reduzida	19,97%
Muito Reduzida	2,33%
Nula	15,20%

4.2. Identificação, avaliação e distribuição de subprodutos e resíduos orgânicos

Os resultados da fase de identificação, avaliação e distribuição de subprodutos e resíduos orgânicos, com potencial de valorização orgânica, apresentam uma distribuição transversal e significativa a todo o território.

4.2.1. Resíduos de origem agroflorestal

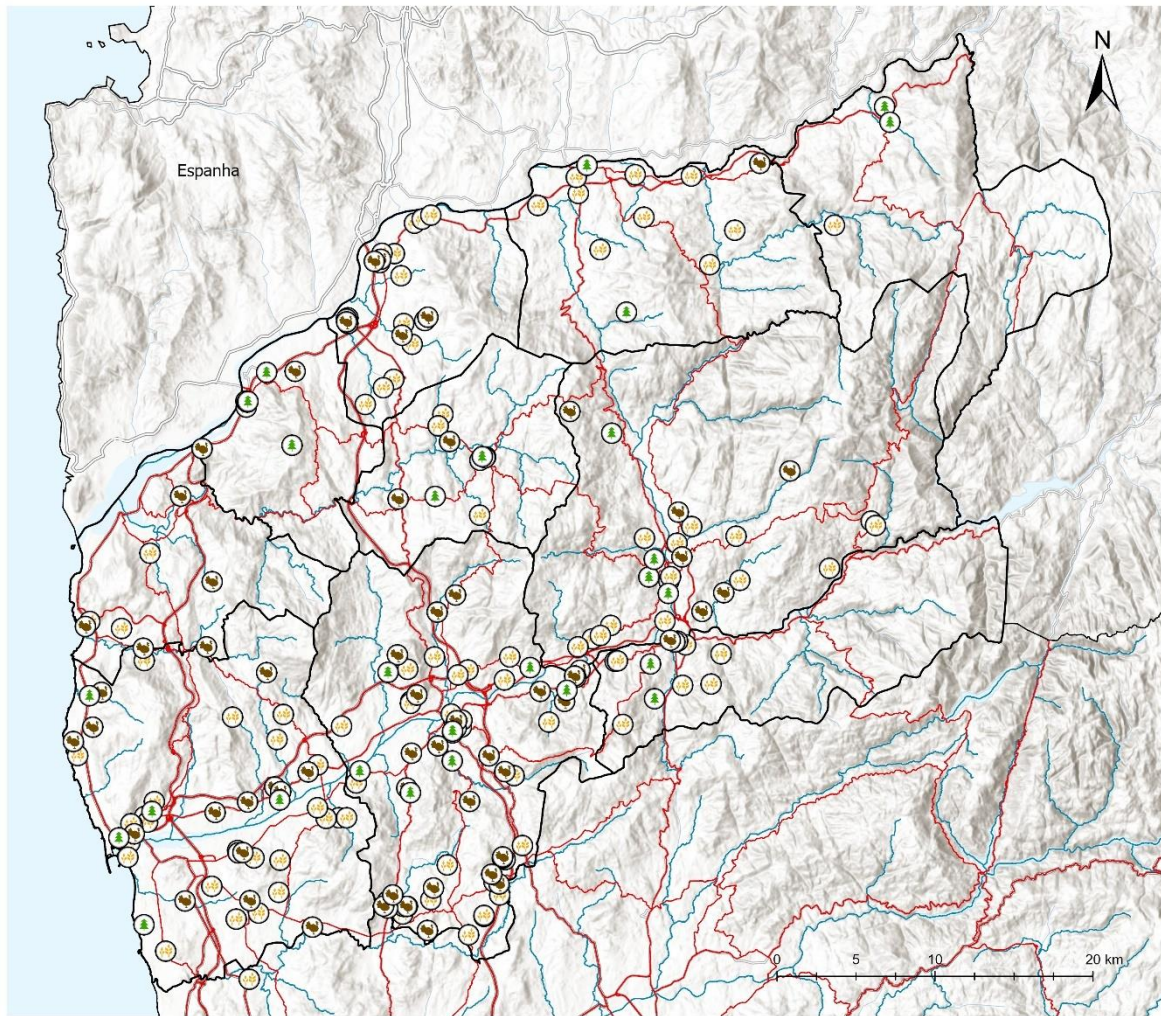
A análise dos resíduos orgânicos de origem agroflorestal, com base nas fontes de dados disponíveis, identifica na área de estudo 188 agentes económicos no setor agrícola num total de 13 atividades económicas distintas. Essas atividades económicas foram associadas ao código LER 02 01 03, correspondente a “resíduos de tecidos vegetais”. Na categoria pecuária, foram identificadas 77 empresas distribuídas por 9 atividades económicas, associadas ao código LER 02 01 06 referente a “fezes, urina e estrume de animais (incluindo palha suja) e efluentes recolhidos separadamente”. No que toca à categoria silvícola identificaram-se 30 agentes económicos potenciais geradores de “resíduos silvícolas” (LER 02 01 07).

Quadro 4. 2 – Atividades económicas de potenciais geradores de resíduos orgânicos de origem agroflorestal

Origem	Categoria	CAE	LER	Atividade	Nº	Total
Agroflorestal	Agrícola	1111	02 01 03	Cerealicultura (exceto arroz)	1	188
		1130		Culturas de produtos hortícolas, raízes e tubérculos	22	
		1191		Cultura de flores e de plantas ornamentais	13	
		1192		Outras culturas temporárias, n.e.	10	
		1210		Viticultura	46	
		1220		Cultura de frutos tropicais e subtropicais	4	
		1251		Cultura de frutos de casca rija	7	
		1252		Cultura de outros frutos em árvores e arbustos	45	
		1280		Cultura de especiarias, plantas aromáticas, medicinais e farmacêuticas	5	
		1290		Outras culturas permanentes	2	
		1300		Cultura de materiais de propagação vegetativa	5	
		1610		Atividades dos serviços relacionados com a agricultura	26	
		1630		Preparação de produtos agrícolas para venda	2	
Pecuária	02 01 06	1410	Criação de bovinos para produção de leite	17	77	
		1420	Criação de outros bovinos (exceto para produção de leite) e búfalos	8		
		1430	Criação de equinos, asininos e muares	2		
		1450	Criação de ovinos e caprinos	2		

Origem	Categoria	CAE	LER	Atividade	Nº	Total
		1460		Suicultura	4	
		1470		Avicultura	9	
		1492		Cunicultura	3	
		1494		Outra produção animal, n.e.	7	
		1500		Agricultura e produção animal combinadas	25	
		2100		Silvicultura e outras atividades florestais	16	
	Silvícola	2400	02 01 07	Atividades dos serviços relacionados com a silvicultura e exploração florestal	14	30
Total						295

Do ponto de vista espacial, observa-se uma maior densidade e proximidade de tecido económico agrícola nas áreas adjacentes aos principais núcleos urbanos, em comparação com os setores pecuário e silvícola (Figura 4. 6). Neste conjunto, é fundamental salientar que a maioria destas empresas foi geocodificada com base no seu endereço fiscal registado. Contudo, cabe ressaltar que, em alguns casos, o endereço fiscal registado poderá não corresponder efetivamente à localização geográfica onde as atividades económicas são, de fato, exercidas.



Legenda

- | | |
|--|--|
|  Limites Internacionais |  Explorações Agrícolas |
|  Limites Administrativos - Alto Minho |  Explorações Pecuárias |
|  Rede Rodoviária Principal |  Empresas no ramo da Silvicultura |
|  Hidrografia | |

Figura 4. 6 – Distribuição espacial dos resíduos orgânicos de origem agroflorestal

Embora os avanços na identificação, avaliação e geocodificação dos produtores de resíduos orgânicos abordados, as bases de dados consultadas não proporcionaram a quantificação da volumétrica dos resíduos produzidos por cada potencial produtor. Relativamente aos resíduos da categoria agrícola e silvícola, também conhecidos como biomassa agroflorestal residual ou biomassa lignocelulósica, estes não só apresentam um significativo potencial de valorização orgânica, mas sobretudo um enorme potencial de valorização para fins energéticos e produção de bioprodutos industriais de valor acrescentado. Atualmente existem estratégias nacionais muito direcionadas para processos térmicos e industriais

envolvendo tais subprodutos, existindo bibliografia pertinente/adequada para a quantificação do potencial de biomassa residual. Porém, para evitar competição com outras formas de valorização, processos e mercados, e considerando que o âmbito principal desta investigação incide na valorização orgânica, optou-se por não expandir esta investigação ao cálculo do potencial de biomassa agroflorestal residual.

4.2.2. Resíduos de origem industrial

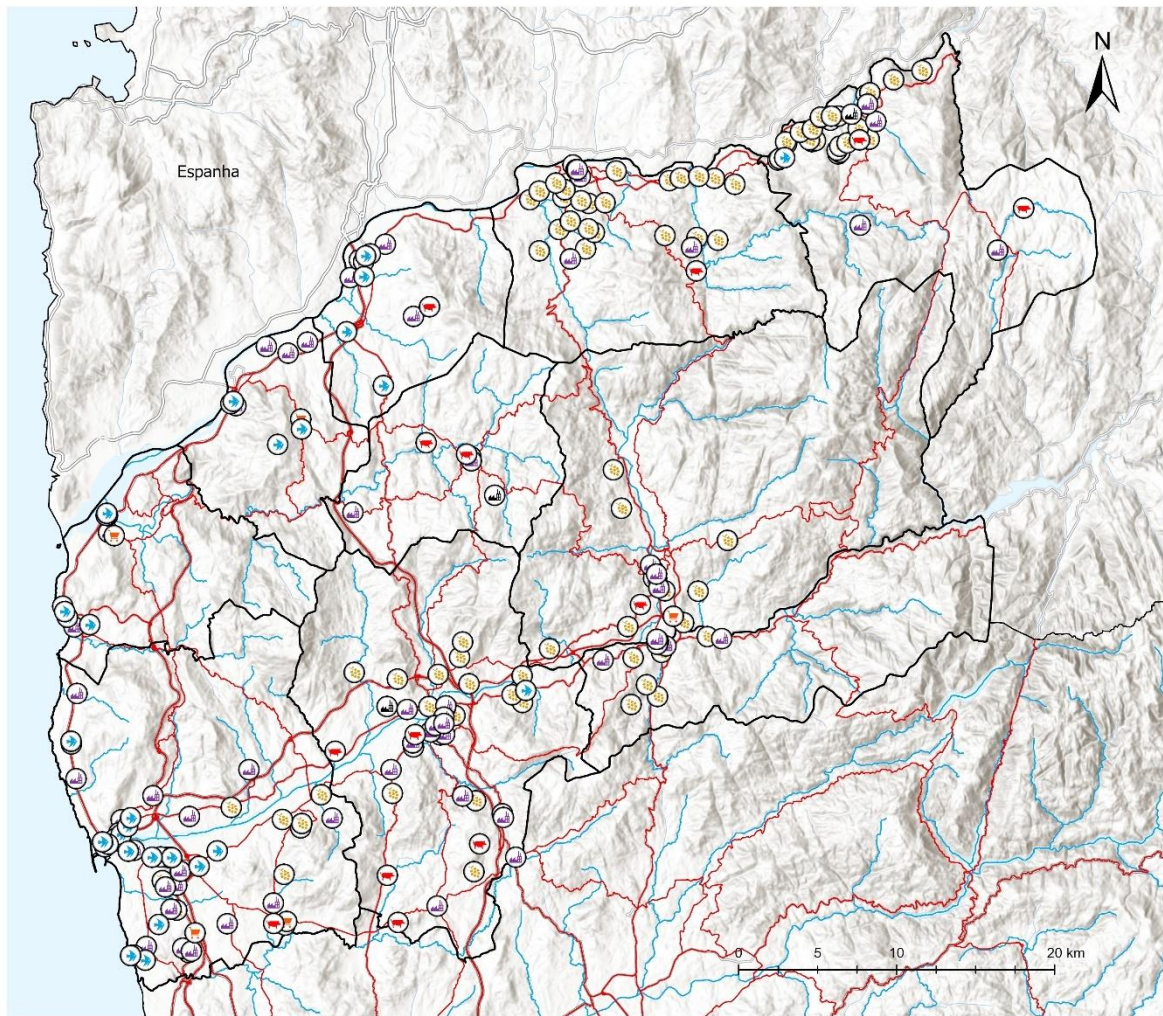
Para os resíduos orgânicos de origem industrial (Figura 4. 7), especificamente na categoria agroalimentar foram identificados 260 agentes económicos de entre 21 atividades económicas distintas. Essas atividades incluem desde a indústria de processamento de carne e peixe, pesca marítima, indústria do leite e derivados, indústrias de panificação, pastelaria e confeitaria, indústrias agroalimentares diversas e a indústria de produção de bebidas alcoólicas e não alcoólicas. Predominantemente, os códigos LER associados a estas atividades económicas correspondem a resíduos de origem animal e vegetal da preparação e processamento das diversas matérias-primas e produtos finais de cada atividade.

Quadro 4. 3 – Atividades económicas de potenciais geradores de resíduos orgânicos de origem industrial agroalimentar

Origem	Categoria	CAE	LER	Atividade	Nº
		3111		Pesca marítima	35
		3121		Pesca em águas interiores	1
		3210		Aquicultura em águas salgadas e salobras	3
		10110	02 02 01	Abate de gado (Produção de carne)	2
		10130	02 02 02	Fabricação de produtos à base de carne	14
		10201	02 02 03	Preparação de produtos da pesca e da aquicultura	4
		10202	02 02 04	Congelamento de produtos da pesca e da aquicultura	3
		10203		Conservação de produtos da pesca e da aquicultura em azeite, e outros óleos vegetais e outros molhos	1
Industrial	Agroalimentar	10204		Salga, secagem e outras atividades de transformação de produtos da pesca e aquicultura	2
		10412	02 03 01 02 03 04	Produção de azeite	1
		10510	02 05 01 02 05 02	Indústrias do leite e derivados	3
		10711		Panificação	65
		10712	02 06 01	Pastelaria	24
		10821	02 06 03	Fabricação de cacau e de chocolate	2
		10822		Fabricação de produtos de confeitaria	4
		10830	02 03 01	Indústria do café do chá	1
		10893	02 03 04	Fabricação de outros produtos alimentares diversos, n.e.	5

Origem	Categoria	CAE	LER	Atividade	Nº
		10912		Fabricação de alimentos para animais de criação (exceto para aquicultura)	1
		11011	02 07 01	Fabricação de aguardentes preparadas	1
		11021	02 07 02	Produção de vinhos comuns e licorosos	86
		11030	02 07 04 02 07 05	Fabricação de cidra e outras bebidas fermentadas de frutos	2
Total					260

Territorialmente, estas atividades encontram-se relativamente próximas dos centros urbanos de todos os municípios, com exceção da pesca marítima, devido à vinculação costeira, e a produção de vinhos, que segue uma distribuição espacial alinhada com as sub-regiões vitivinícolas (maior concentração nos concelhos de Monção e Melgaço e uma distribuição mais dispersa na sub-região do Lima).



Legenda

- | | |
|--|--|
|  Limites Internacionais |  Indústria de Processamento de Peixe e Pescas |
|  Limites Administrativos - Alto Minho |  Indústria de Lacticínios |
|  Rede Rodoviária Principal |  Indústria Agroalimentar Diversa |
|  Hidrografia |  Indústria da Panificação, Pastelaria e Confeitaria |
|  Matadouros e Indústria de Processamento de Carne |  Indústria de Produção de Bebidas Alcoólicas e Não Alcoólicas |

Figura 4. 7 – Distribuição espacial dos resíduos orgânicos de origem industrial agroalimentar

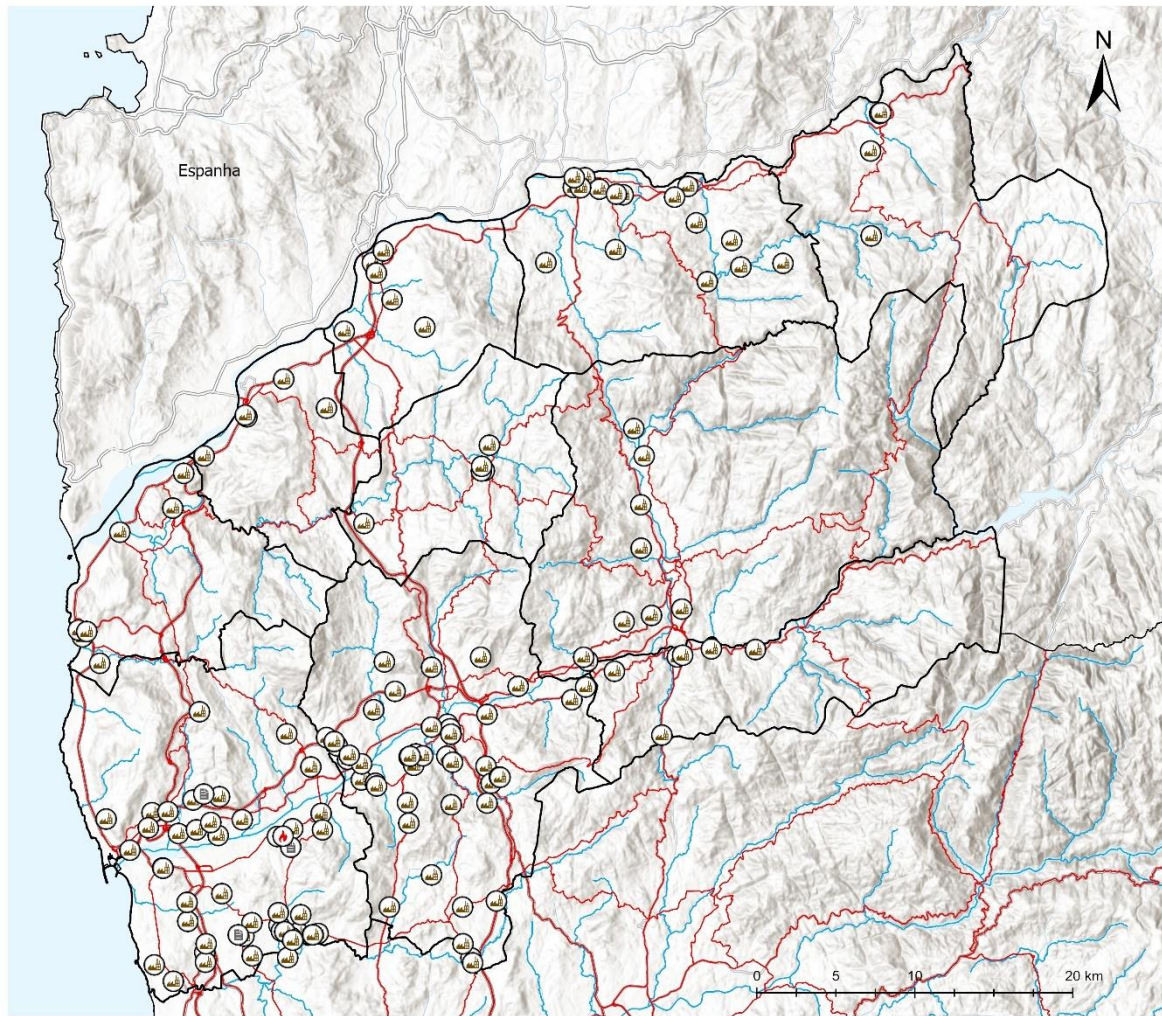
Na categoria de resíduos florestais de origem industrial foram identificados 170 agentes económicos, maioritariamente associados à indústria de processamento de madeira e fabrico de mobiliário. Com muito menor expressão, existem algumas empresas da indústria do papel e pasta de papel e instalações de combustão de biomassa. Os códigos LER associados a estas atividades referem-se primordialmente a resíduos do processamento de madeira e do fabrico de painéis, mobiliário (03 01 01 e 03 01 05) e pasta para papel, papel

e cartão (03 03 01 e 03 03 11). Excepcionalmente, o código LER 10 01 01, atribuído a cinzas, escórias e poeiras de caldeiras de matérias-primas não perigosas, embora seja um resíduo inorgânico, possui proveniência orgânica, uma vez que advém da combustão de biomassa virgem.

Quadro 4. 4 – Atividades económicas de potenciais geradores de resíduos orgânicos de origem industrial florestal

Origem	Categoria	CAE	LER	Atividade	Nº
		16101		Serração de madeira	15
		16230	03 01 01 03 01 05	Fabricação de outras obras de carpintaria para a construção	66
		16291		Fabricação de outras obras de madeira	9
		17120	03 03 01 03 03 11	Fabricação de papel e de cartão (exceto canelado)	3
Industrial Florestal		31010		Fabricação de mobiliário para escritório e comércio	2
		31020	03 01 01 03 01 05	Fabricação de mobiliário de cozinha	7
		31091		Fabricação de mobiliário de madeira para outros fins	18
		35112	10 01 01	Produção de eletricidade de origem térmica (instalações de combustão de biomassa)	2
		43320	03 01 01 03 01 05	Montagem de trabalhos de carpintaria e de caixilharia	48
Total					170

Estes agentes económicos encontram-se homoganeamente dispersos pelas áreas urbanas da região em análise, com exceção das atividades de fabricação de papel e de cartão e às instalações de combustão de biomassa limitadas ao concelho de Viana do Castelo.



Legenda

- | | | | |
|--|--------------------------------------|--|---|
| | Limites Internacionais | | Indústria de Processamento de Madeira e Fabrico de Mobiliário |
| | Limites Administrativos - Alto Minho | | Indústria do Papel e Pasta de Papel |
| | Rede Rodoviária Principal | | Instalações de Combustão de Biomassa |
| | Hidrografia | | |

Figura 4. 8 – Distribuição espacial dos resíduos orgânicos de origem industrial florestal

À semelhança dos resíduos orgânicos agroflorestais, as bases de dados utilizadas nos processos de identificação, avaliação e geocodificação dos resíduos orgânicos de origem industrial não ofereceram a possibilidade de determinar a quantidade de resíduos gerados por cada fonte potencial. Para colmatar esta lacuna, a metodologia mais eficaz seria a implementação de inquéritos direcionados aos produtores ou o desenvolvimento de uma plataforma colaborativa, integrada no contexto da bioeconomia circular e associada aos sistemas de informação e licenciamento (geridos pela APA) para relato regular obrigatório da produção de resíduos. Esta abordagem colaborativa não só facilitaria a recolha de dados

mais precisos e abrangentes, mas também fomentaria a partilha de informações vitais para a otimização da gestão partilhada, simbiótica e circular de resíduos no âmbito da sustentabilidade e responsabilidade industrial.

4.2.3. Resíduos de origem urbana

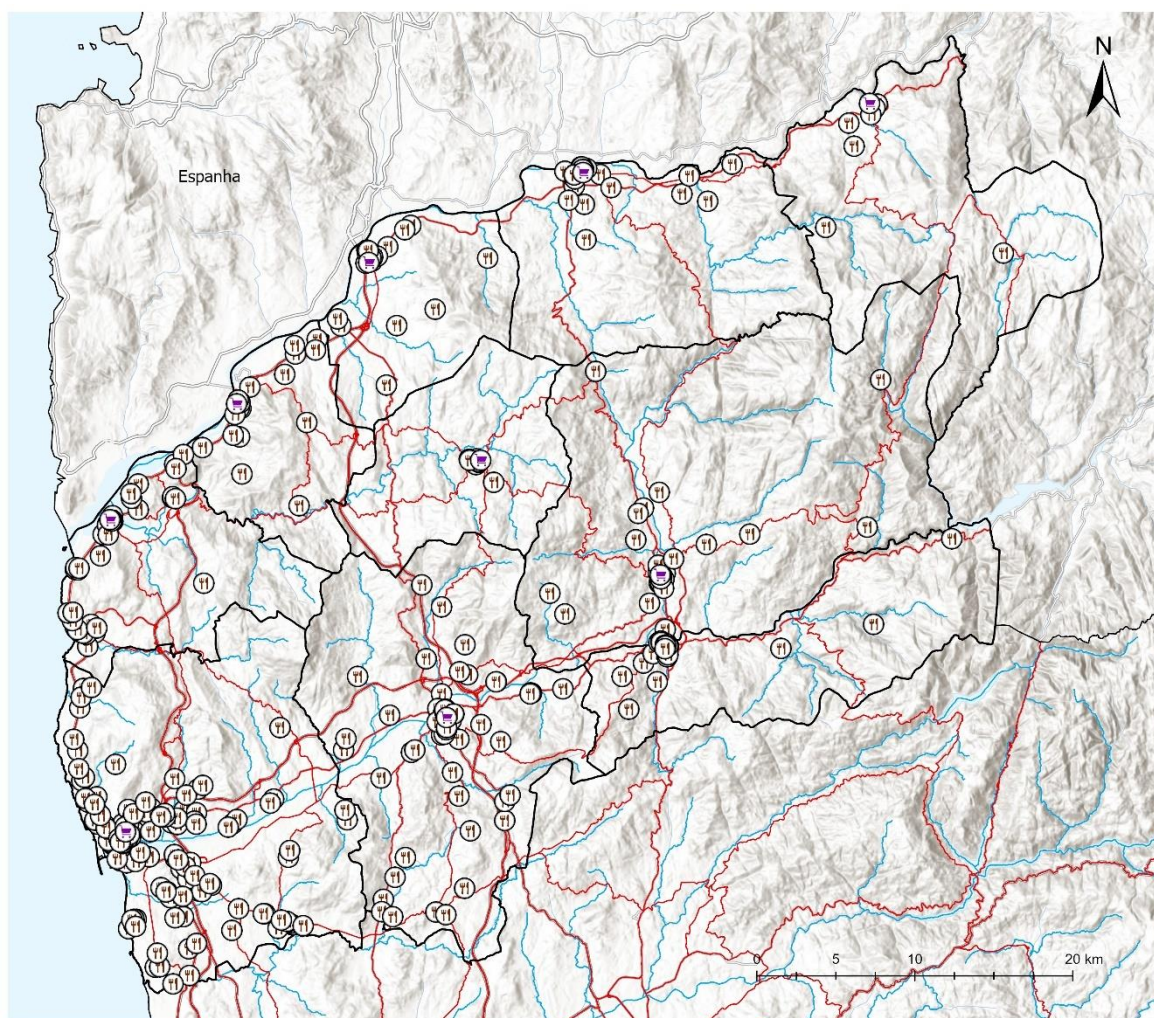
Relativamente aos resíduos orgânicos de origem urbana, a categoria alimentar destaca-se como a mais representativa em termos de número de agentes económicos, bem como de equipamentos e serviços sociais e educativos dotados de unidades de fornecimento de refeições. No que concerne aos agentes económicos, identificaram-se 593 empresas, distribuídas por 19 atividades distintas, inseridas no canal HORECA (Hotéis, Restaurantes e Cafés) (Quadro 4. 5). Estas atividades económicas foram classificadas sob o código LER 20 01 08, atribuído a “resíduos biodegradáveis de cozinhas e cantinas”. Adicionalmente, foram georreferenciados na região 9 equipamentos públicos referentes a mercados municipais, com o código LER 20 03 02, associado a “resíduos de mercados”, sendo estes predominantemente resíduos biodegradáveis.

Quadro 4. 5 – Atividades económicas de potenciais geradores de resíduos alimentares de origem urbana

Origem	Categoria	CAE	LER	Atividade	Nº	Total		
		55111		Hotéis com restaurante	40			
		55112		Pensões com restaurante	16			
		55113		Estalagens com restaurante	1			
		55114		Pousadas com restaurante	1			
		55115		Motéis com restaurante	1			
		55116		Hotéis-Apartamentos com restaurante	3			
		55117		Aldeamentos turísticos com restaurante	8			
		55118		Apartamentos turísticos com restaurante	1			
		55119		Outros estabelecimentos hoteleiros com restaurante	6			
Urbana	Alimentar		20 01 08	56101	Restaurantes tipo tradicional	227	593	
		56102		Restaurantes com lugares ao balcão	28			
		56103		Restaurantes sem serviço de mesa	1			
		56104		Restaurantes típicos	27			
		56105		Restaurantes com espaço de dança	5			
		56106		Confeção de refeições prontas a levar para casa	5			
		56107		Restaurantes, n.e. (inclui atividades de restauração em meios móveis)	67			
		56210		Fornecimento de refeições para eventos	3			
		56290		Outras atividades de serviço de refeições	4			
		56301		Cafés	149			
		-						
				20 03 02	Mercados Municipais	9		9

Origem	Categoria CAE	LER	Atividade	Nº	Total
			Total		602

Do ponto de vista da distribuição espacial, observa-se uma elevada concentração destes agentes económicos nos núcleos urbanos dos municípios, com uma distribuição mais dispersa ao longo da rede rodoviária local (Figura 4. 9). Historicamente e por questões de planeamento urbanístico, os mercados municipais tendem a se situar nos centros urbanos, constituindo-se como pontos nucleares de atividade comercial e social.



Legenda

- Limites Internacionais
- Limites Administrativos - Alto Minho
- Rede Rodoviária Principal
- Hidrografia
- H Empresas do canal HORECA
- ⚖️ Mercados Municipais

Figura 4. 9 – Distribuição espacial dos resíduos alimentares de origem urbana

No que respeita aos equipamentos e serviços educativos (Quadro 4. 6) foram identificados 183 estabelecimentos de ensino, abrangendo desde o nível pré-escolar até ao ensino superior. Partindo do pressuposto que estes equipamentos possuem unidades de fornecimento de refeições, foi associado o código LER 20 01 08.

Quadro 4. 6 – Equipamentos e serviços educativos potenciais geradores de resíduos alimentares

Origem	Categoria	LER	Ciclo	Nº
			1º Ciclo	18
			1º Ciclo; 2º Ciclo; 3º Ciclo	1
			1º Ciclo; 2º Ciclo; 3º Ciclo; Artístico	1
			1º Ciclo; 2º Ciclo; 3º Ciclo; Secundário	2
			1º Ciclo; Pré-escolar	1
			2º Ciclo; 3º Ciclo	6
			2º Ciclo; 3º Ciclo; Secundário	6
			2º Ciclo; 3º Ciclo; Secundário; Profissional	4
			3º Ciclo; Secundário; Profissional	3
Urbana	Alimentar	20 01 08	Artístico	5
			Especial	1
			Pré-escolar	50
			Pré-escolar; 1º Ciclo	55
			Pré-escolar; 1º Ciclo; 2º Ciclo	2
			Pré-escolar; 1º Ciclo; 2º Ciclo; 3º Ciclo	6
			Profissional	7
			Profissional; 3º Ciclo	7
			Secundário; Profissional	2
			Superior	6
			Total	183

A distribuição geográfica destes estabelecimentos de ensino é extensiva a todo o território, observando-se, contudo, uma concentração mais acentuada nos municípios com maior densidade populacional.

No que se refere à análise da rede de serviços e equipamentos sociais (RSES) na região do Alto Minho, foram catalogados 288 equipamentos sociais que oferecem uma diversidade de respostas sociais, atendendo a distintos grupos populacionais. Considerando a presença de unidades de fornecimento de refeições nesses estabelecimentos, procedeu-se à atribuição do código LER 20 01 08, que se aplica especificamente a “resíduos biodegradáveis de cozinhas e cantinas”. Em termos de distribuição geográfica, estes equipamentos sociais apresentam uma concentração preponderante nos centros urbanos

dos municípios abrangidos pela área de estudo, refletindo a estrutura e as necessidades de serviços sociais nesses locais.

Quadro 4. 7 - Rede de serviços e equipamentos sociais potenciais geradores de resíduos alimentares

Origem	Categoria	LER	Público-Alvo	Resposta	Nº	Total
Urbana	Alimentar	20 01 08	Pessoas Idosas; Pessoas em Situação de Dependência; Pessoas Adultas com Deficiência	Associação de Apoio a Pessoas com Mobilidade Reduzida	1	121
				Centro de Atendimento, Acompanhamento e Reabilitação Social para Pessoas com Deficiência e incapacidade (CAARPD)	1	
				Centro de Atividades e Capacitação para a Inclusão (CACI); Lar Residencial (Deficiência)	3	
				Centro de Dia; Centro de Convívio	1	
				Centro de Dia; Centro de Convívio; Serviço de Apoio Domiciliário (Idosos)	3	
				Centro de Dia; Centro de Convívio; Serviço de Apoio Domiciliário (Idosos); Estrutura Residencial para Pessoas Idosas (Lar de Idosos e Residência)	2	
				Centro de Dia; Centro de Noite	1	
				Centro de Dia; Estrutura Residencial para Pessoas Idosas (Lar de Idosos e Residência)	3	
				Centro de Dia; Serviço de Apoio Domiciliário (Idosos)	17	
				Centro de Dia; Serviço de Apoio Domiciliário (Idosos); Estrutura Residencial para Pessoas Idosas (Lar de Idosos e Residência)	21	
				Centro de Noite	1	
				Equipa de Cuidados Continuados Integrados (ECCI)	12	
				Estrutura Residencial para Pessoas Idosas (Lar de Idosos e Residência)	26	
				Lar Residencial (Deficiência)	4	
				Serviço de Apoio Domiciliário (Idosos); Estrutura Residencial para Pessoas Idosas (Lar de Idosos e Residência)	13	
				Unidade de Convalescença (UC)	2	
				Unidade de Longa Duração e Manutenção (ULDM)	3	
				Unidade de Média Duração e Reabilitação (UMDR)	1	
				Unidade de Média Duração e Reabilitação (UMDR); Unidade de Longa Duração e Manutenção (ULDM)	5	
				Unidade de Média Duração e Reabilitação (UMDR); Unidade de Longa Duração e Manutenção (ULDM); Unidade de Convalescença (UC)	1	

Origem	Categoria LER	Público-Alvo	Resposta	Nº	Total
			Ajuda Alimentar a Carenciados	15	
	Família e Comunidade em Geral		Ajuda Alimentar a Carenciados; Atendimento/Acompanhamento Social (Família e Comunidade)	1	17
			Ajuda Alimentar a Carenciados; Refeitório/Cantina Social	1	
			Creche	27	
			Creche; Centro de Atividades de Tempos Livres	1	
	Crianças e Jovens;		Creche; Estabelecimento de Educação Pré-escolar	17	
	Crianças e Jovens com Deficiência;		Creche; Estabelecimento de Educação Pré-escolar; Centro de Atividades de Tempos Livres	3	150
	Crianças e Jovens em Situação de Perigo		Estabelecimento de Educação Pré-escolar	88	
			Estabelecimento de Educação Pré-escolar; Centro de Atividades de Tempos Livres	6	
			Lar de Apoio	5	
			Lar de Infância e Juventude	3	
Total					288

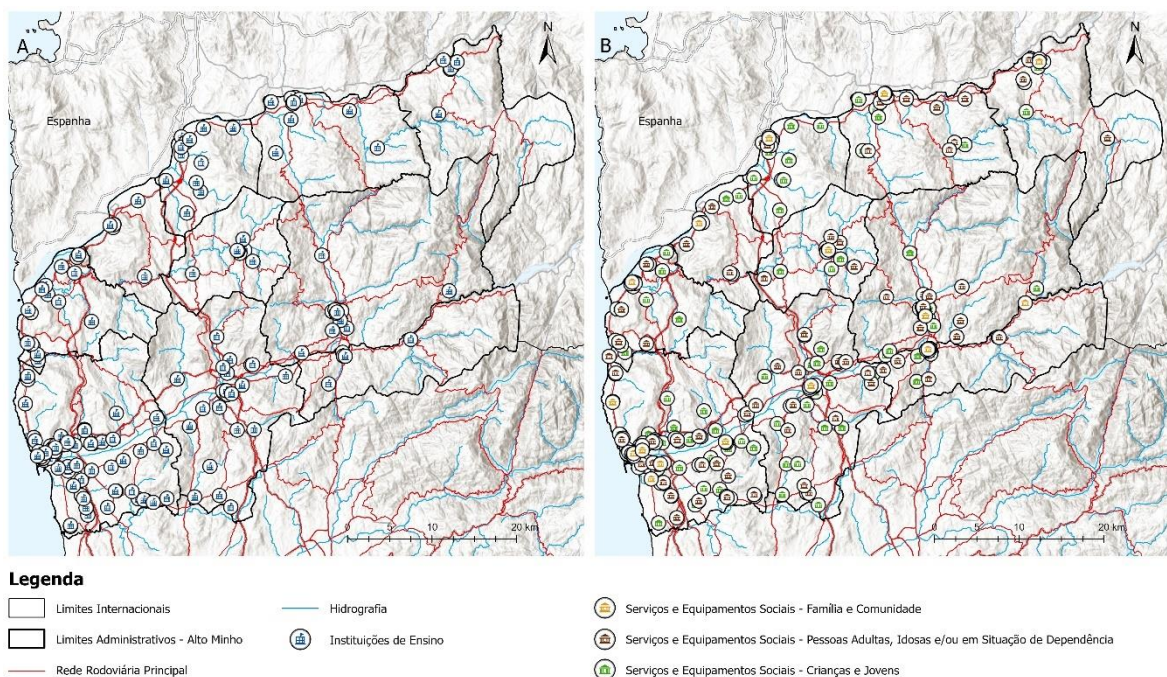


Figura 4. 10 – Distribuição espacial de equipamentos e serviços educativos (A) e serviços e equipamentos sociais (B) potenciais geradores de resíduos alimentares

No que diz respeito à geração de resíduos verdes, identificou-se um total de 102 potenciais fontes, incluindo campos de golfe, cemitérios, instalações desportivas, parques e jardins

(Quadro 4. 8). Esta categoria de resíduos orgânicos é classificada sob o código LER 20 02 01, que se refere a “resíduos biodegradáveis de jardins e parques (incluindo cemitérios)”. A distribuição geográfica destes resíduos é relativamente homogênea por todos os núcleos urbanos, com uma tendência de concentração nas áreas de maior densidade urbanística.

Quadro 4. 8 – Fontes de potenciais geradores de resíduos verdes de origem urbana

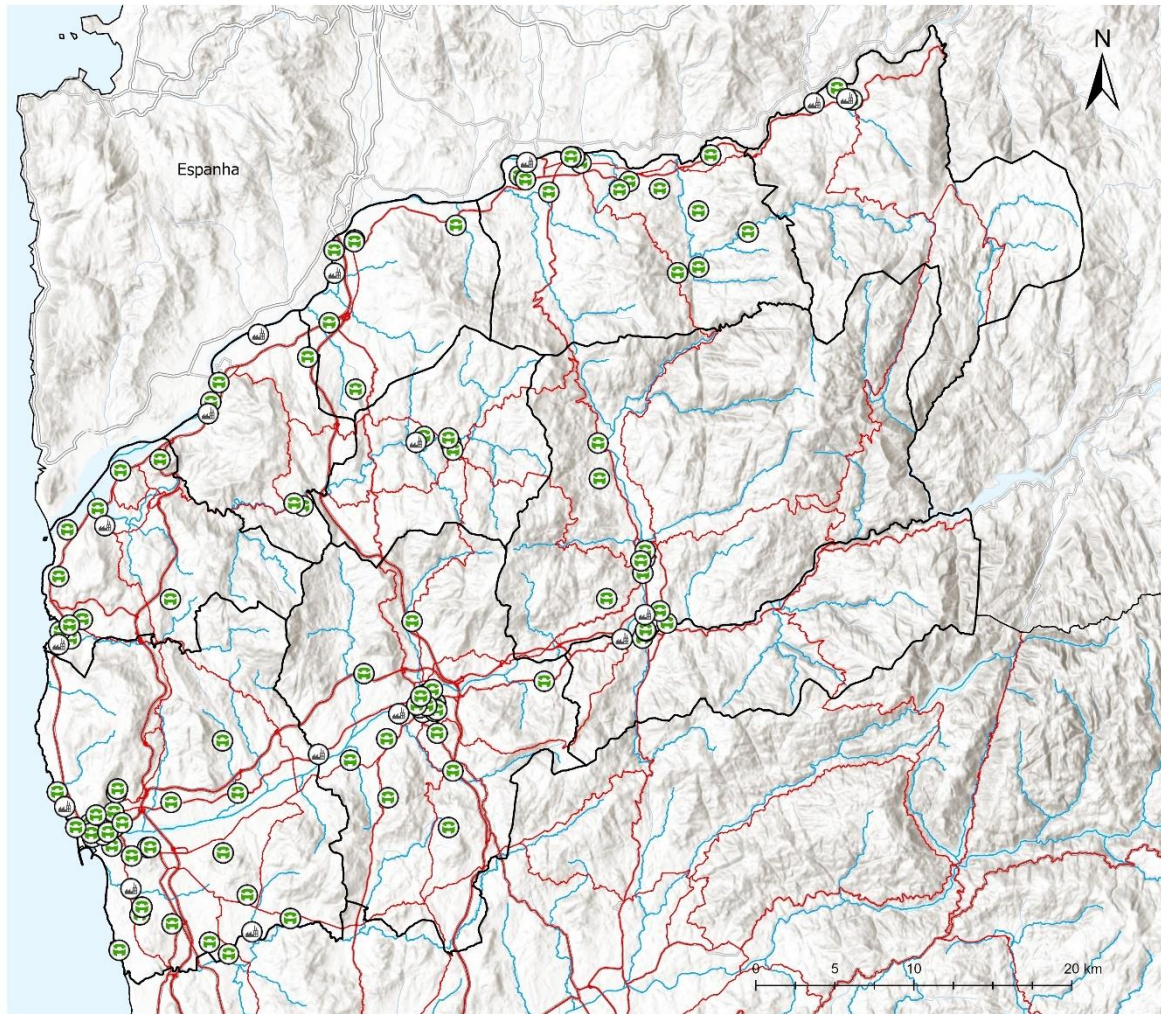
Origem	Categoria	LER	Fonte	Nº
Urbana	Verdes	20 02 01	Campos de golfe	1
			Cemitérios	9
			Instalações desportivas	67
			Parques e jardins	25
Total				102

Por outro lado, a categoria das lamas, representa um subproduto significativo do processo de tratamento de águas residuais urbanas, caracterizado por uma elevada concentração de nutrientes, micronutrientes e matéria orgânica. Esta tipologia de resíduos é enquadrada no código LER 19 08 05, correspondendo a “lamas de tratamento de águas residuais urbanas” (Quadro 4. 9). No âmbito do território em análise, foram identificadas 16 ETAR com produção de lamas, operadas por duas entidades distintas.

Quadro 4. 9 – Entidades gestoras de ETAR com produção de lamas no Alto Minho

Origem	Categoria	LER	Entidade Gestora	Nº	Produção Anual (ton)
Urbana	Lamas	19 08 05	Águas do Norte	6	6861
			Me Water	10	2356
Total				16	9217

Cada município possui, no mínimo, uma unidade deste tipo, estrategicamente localizadas próximas a massas de água para facilitar a descarga das águas residuais tratadas de volta ao meio hídrico. Além da análise espacial, foi possível quantificar a produção anual deste tipo de resíduo orgânico, totalizando uma quantidade superior a 9000 toneladas por ano para o conjunto das entidades gestoras.



Legenda

- | | |
|--|--|
|  Limites Internacionais |  Hidrografia |
|  Limites Administrativos - Alto Minho |  Resíduos de Parques, Jardins, Instalações Desportivas e Outros |
|  Rede Rodoviária Principal |  Estações de Tratamento de Águas Residuais |

Figura 4. 11 – Distribuição espacial de potenciais fontes de resíduos verdes e de ETAR com produção de lamas

À semelhança das outras origens de resíduos orgânicos, com exceção das lamas de tratamento de águas residuais urbanas, as bases de dados disponíveis dos potenciais produtores de resíduos de origem urbana não fornecem informação suficiente, detalhada e atualizada para uma quantificação dos resíduos gerados por cada fonte identificada.

Para uma estimativa efetiva da quantidade de resíduos urbanos produzidos, seria benéfico implementar métodos complementares de recolha de dados. Este processo poderia incluir a realização de inquéritos específicos junto aos agentes económicos e instituições envolvidas, ou a criação de uma plataforma colaborativa enquadrada dentro dos princípios

da bioeconomia circular urbana. Tal plataforma não só auxiliaria na obtenção de dados mais detalhados e representativos, mas também promoveria a integração e o intercâmbio de informações essenciais para aprimorar a gestão sustentável dos resíduos urbanos, alinhando-se com os objetivos de redução, reutilização e reciclagem dentro do contexto da bioeconomia circular.

4.2.3.1. Quantificação do potencial de produção de biorresíduos com origem nos RSU

Para além dos agentes económicos e equipamentos e serviços sociais e educativos dotados de unidades de fornecimento de refeições, os resíduos alimentares de cozinhas e habitações (20 01 08) foram igualmente analisados e quantificados da perspetiva dos RSU, através de dados do RARU2021 alusiva a cada SGRU da área de estudo e dos dados demográficos do território através da BGRI2021.

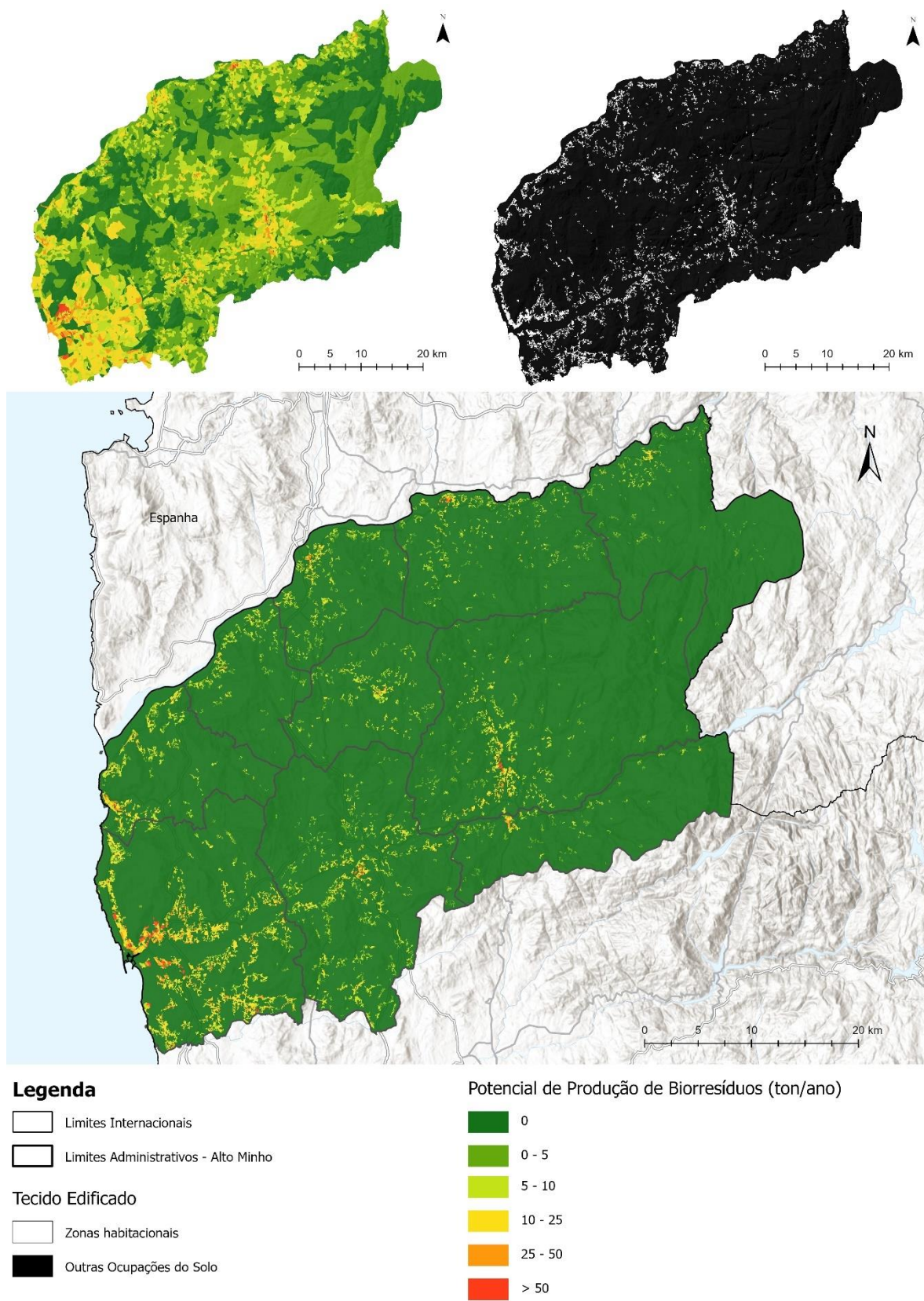


Figura 4. 12 – Distribuição espacial do potencial de produção de biorresíduos

Segundo as subsecções estatísticas da BGRI (Figura 4. 12) constata-se que o potencial de produção de biorresíduos é bastante díspar na área de estudo, uma vez que a diferença entre as zonas litorais com maior população e as zonas de montanha mais interiores é evidente. Este contraste torna-se ainda mais notório após sobreposição com as áreas representativas do tecido edificado. Cerca de um terço do território não é habitado, o que se traduz num potencial de produção nulo de biorresíduos. Uma grande parte das subsecções estatísticas da área de estudo possui um potencial de produção de biorresíduos inferior a 10 toneladas por ano. Por outro lado, cerca de 10% da área abrangida atinge potenciais de produção desta tipologia de resíduos superiores a 10 toneladas anuais, constituindo assim estes locais nos mais indicados à exploração deste recurso. Em termos gerais toda a área de estudo perfaz um potencial de 48750 toneladas anuais de biorresíduos com origem nos RSU.

Quadro 4. 10 – Distribuição percentual e quantidade potencial de produção de biorresíduos (t/ano)

Potencial de Produção de Biorresíduos (t/ano)	Distribuição percentual (%)	Quantidade (t/ano)
0	33,19%	0
0 - 5	41,00%	10063,4
5 - 10	15,09%	13175,4
10 - 25	9,37%	15861,8
25 - 50	1,09%	6058
50 - 132,26	0,27%	3591,5
Total		48750,1

4.3. Seleção de resíduos e subprodutos que possam ser utilizados como matérias fertilizantes em AB

Dada a diversidade das tipologias identificadas e a complexidade e dificuldade de quantificação de grande parte das mesmas, foi apenas selecionada a tipologia dos resíduos biodegradáveis de cozinhas e cantinas (20 01 08), quantificados através da fração de biorresíduos de cada SGRU da área de estudo. De acordo com a enquadramento legal relativa aos fertilizantes, corretivos do solo e nutrientes autorizados em MPB este código LER corresponde a misturas de resíduos domésticos separados na origem, de origem vegetal e animal, produzidos num sistema de recolha fechado e controlado pelo Estado-Membro e posteriormente submetidos a processos de compostagem ou digestão anaeróbia (Comissão Europeia, 2021).

No entanto, a utilização desta tipologia de resíduo como matéria-prima, mesmo com sistemas de separação na origem, poderá levantar preocupações sanitárias e de contaminação por metais pesados (Morais et al., 2021). No entanto, a legislação em vigor estabelece condições e limites específicos para aplicação das tecnologias de valorização, bem como para a caracterização do fertilizante orgânico final, por forma a garantir a segurança para o ambiente e saúde humana após a sua aplicação no solo.

4.4. Otimização da localização de áreas com aptidão para conversão em MPB em função da disponibilidade de resíduos orgânicos para valorização em agricultura biológica

4.4.1. Potencial técnico para recolha seletiva de biorresíduos e a sua alocação por OGR

Através dos resultados da aplicação dos indicadores técnicos para a área de estudo, considerando os pressupostos estabelecidos para cada indicador em análise tornou-se possível: (i) calcular a quantidade de biorresíduos potencialmente recolhidos seletivamente; (ii) identificar o conjunto de freguesias com potencial de implementação de recolha seletiva e a respetiva população abrangida; (iii) bem como os respetivos OGR a que estas freguesias ficariam alocadas.

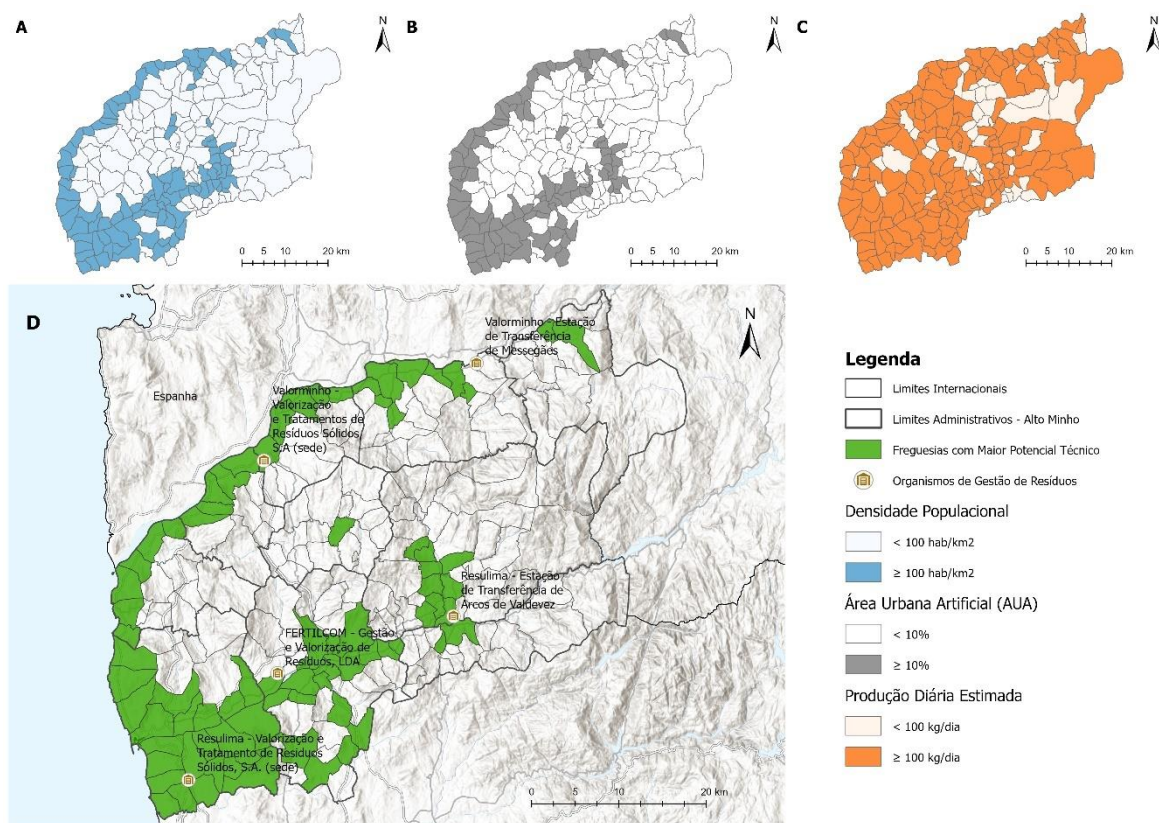


Figura 4. 13 – Freguesias com maior potencial técnico para recolha seletiva de biorresíduos e distribuição espacial dos OGR considerados. A) Densidade populacional (hab/km²); B) Área urbana artificial (%); C) Produção diária estimada (kg/dia)

As freguesias que em 2021 possuem uma densidade populacional superior a 100 hab/km², contabilizam-se em 98 de entre as 208 freguesias do distrito (47,1%) (Figura 4. 13.A), incluindo 76,7% do número de habitantes abrangidos por este indicador. Podemos observar que as freguesias incluídas neste pressuposto se situam fundamentalmente na zona litoral do território e ao longo das principais vias de comunicação que interligam os centros urbanos do distrito. Estima-se que através deste indicador seria possível recolher 18505 t/ano de biorresíduos.

Para a AUA (Figura 4. 13.B) registaram-se 92 freguesias (44,2%) onde este indicador é superior a 10%. Esta situação deve-se sobretudo à inclusão do tecido edificado habitacional no cálculo deste indicador. Este indicador abrange cerca de 75% da população da área de estudo e possui uma estimativa de produção de biorresíduos de 18155 t/ano.

As freguesias com uma produção diária estimada (Figura 4. 13.C) que supera os 100 kg/dia (e relembando que para este indicador foi assumida uma taxa de captura de biorresíduos de 50%) representam a maioria do território, contabilizando-se 160 freguesias das 208 do

distrito (76,9%). Estas freguesias representam uma população abrangida de quase 95% da totalidade da população residente e estima-se que, através deste indicador, seria possível recolher 23062 t/ano de biorresíduos.

Quadro 4. 11 – Resultados dos pressupostos para o cálculo do potencial técnico para a recolha seletiva de biorresíduos

Indicador	Pressuposto	Freguesias Abrangidas		População Abrangida		Quantidade de Biorresíduos	
		Nº	%	Nº	%	t/dia	t/ano
Densidade Populacional	≥ 100 hab/km ²	98	47,1%	177346	76,7%	50,7	18505
Área Urbana Artificial	≥ 10%	92	44,2%	173573	75,0%	49,7	18155
Produção Diária Estimada	≥ 100 kg/dia	160	76,9%	218962	94,7%	63,2	23062
Potencial técnico para recolha seletiva de biorresíduos		79	38,0%	166591	72,0%	48	17395

A agregação destes três indicadores resultou na obtenção das freguesias que, de acordo com esta análise, apresentam maior potencial técnico para recolha seletiva de biorresíduos (Figura 4. 13.D). Segundo o modelo, serão abrangidas 79 freguesias (38%) e 166591 habitantes (72%). Como seria expectável, estas freguesias encontram-se maioritariamente localizadas na zona litoral do distrito, verificando-se uma certa contiguidade ao longo das principais vias de comunicação, assim como freguesias limítrofes às sedes de concelho. De acordo com o modelo, seria possível recolher cerca de 48 t/dia, o que equivale a 17395 t/ano desta tipologia de resíduo.

A localização geográfica dos OGR considerados nesta análise receberão os biorresíduos das freguesias com maior potencial técnico de recolha seletiva e representam as infraestruturas de valorização orgânica desta tipologia de resíduos, seja por via de processos de compostagem ou digestão anaeróbia (Figura 4. 13.D). Para as freguesias excluídas deste modelo, será indicada a busca de outras soluções de valorização na origem como a compostagem doméstica e comunitária.

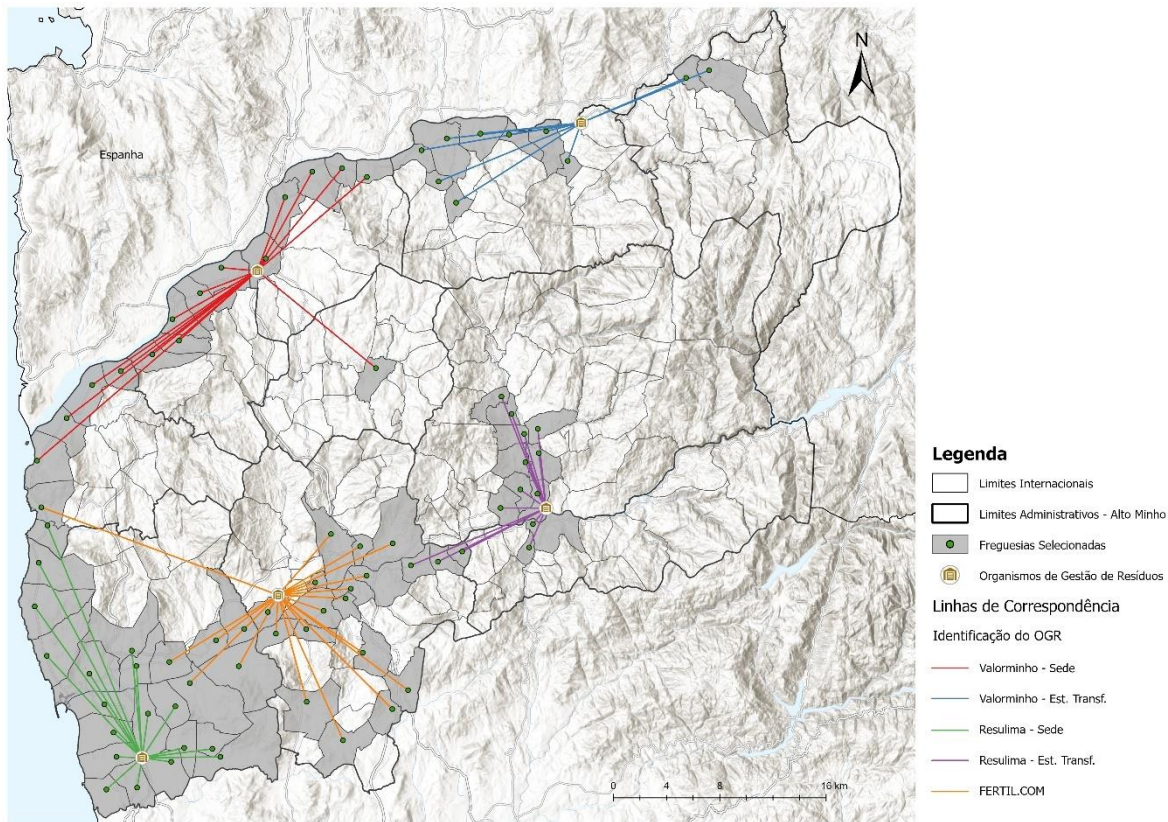


Figura 4. 14 – Alocação dos biorresíduos recolhidos seletivamente por OGR

A alocação por OGR dos biorresíduos produzidos e recolhidos seletivamente em cada freguesia (Figura 4. 14) indicam que a população abrangida por cada OGR é bastante díspar, o que inevitavelmente se traduz em quantidades de biorresíduos com diferenças significativas entre OGR.

Quadro 4. 12 – Resultados da alocação dos biorresíduos recolhidos seletivamente por OGR

Organismo de Gestão de Resíduos	Freguesias Abrangidas Nº	População Abrangida Nº	Quantidade de Biorresíduos t/dia	t/ano
Valorminho – Valorização e Tratamentos de Resíduos Sólidos, S.A (sede)	15	23399	7	2724
Valorminho – Estação de Transferência de Messegães	10	13025	4	1516
Resulima – Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S.A. (sede)	18	73276	20	7372
Resulima – Estação de Transferência de Arcos de Valdevez	14	16721	5	1678
FERTILCOM – Gestão e Valorização de Resíduos, LDA	22	40170	11	4105
Total	79	166591	48	17395

4.4.2. Acessibilidade de composto orgânico para MPB

A aplicação dos critérios que definem a acessibilidade a composto orgânico para explorações atuais e potenciais em MPB, permitirá apurar os locais com melhor acessibilidade, não somente em termos de proximidade às infraestruturas de valorização orgânica, como também da quantidade de composto que estas infraestruturas irão produzir. Tal avaliação é crucial para otimizar a logística e a eficiência no fornecimento de composto orgânico, contribuindo significativamente para a gestão sustentável de biorresíduos e a promoção de práticas agrícolas ambientalmente responsáveis.

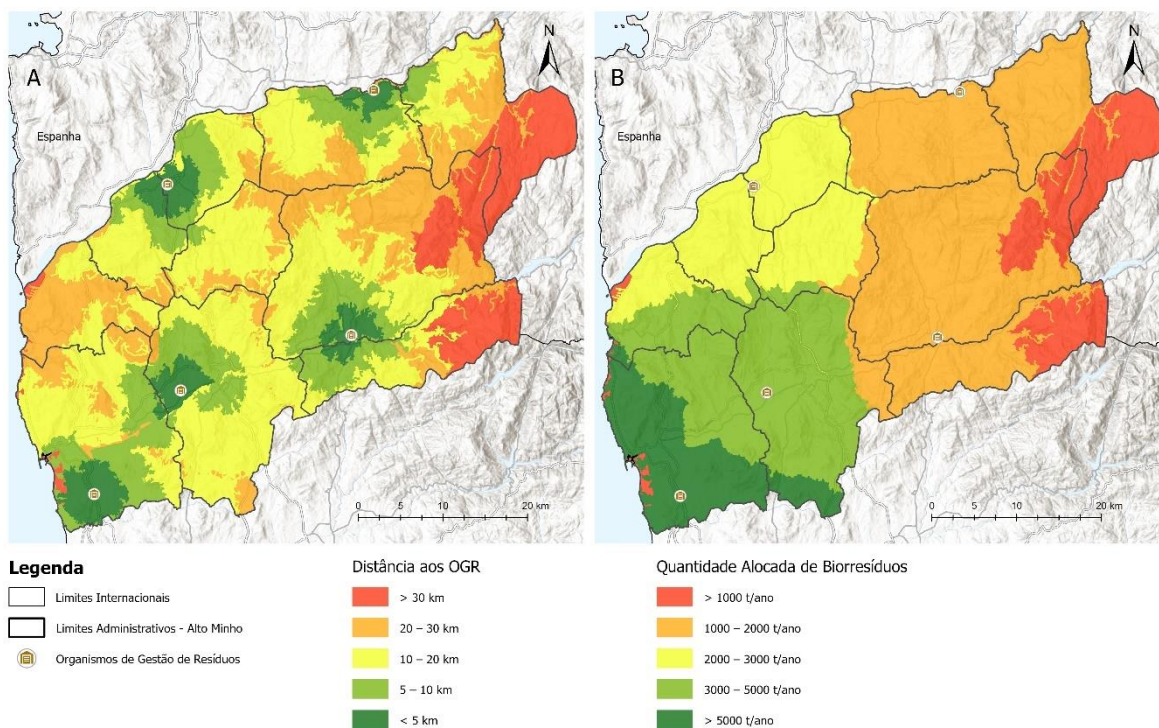


Figura 4. 15 – A) Distância aos OGR; B) Quantidade alocada de biorresíduos por OGR

De acordo com a localização dos OGR considerados nesta investigação, cerca de dois terços do território encontram-se a uma distância inferior a 20 km relativamente a pelo menos um dos OGR considerados (Figura 4. 15.A). Por outro lado, cerca de metade da área de estudo possui uma alocação de biorresíduos por OGR inferior a 2000 t/ano. Como é evidente, os OGR situados nos territórios mais litorais e densamente povoados produzirão maior quantidade de composto, resultante das maiores quantidades de biorresíduos que lhes ficaram alocadas.

Quadro 4. 13 – Distribuição percentual dos critérios utilizados na análise de acessibilidade a composto orgânico.

Critério	Intervalo	Distribuição percentual (%)
Distância aos OGR (km)	> 30	11,0%
	20 – 30	23,2%
	10 – 20	41,9%
	5 – 10	16,9%
	0 – 5	6,9%
Quantidade alocada de Biorresíduos por OGR (t/ano)	< 1000	11,0%
	1000 – 2000	40,0%
	2000 – 3000	17,4%
	3000 – 5000	21,7%
	> 5000	10,0%

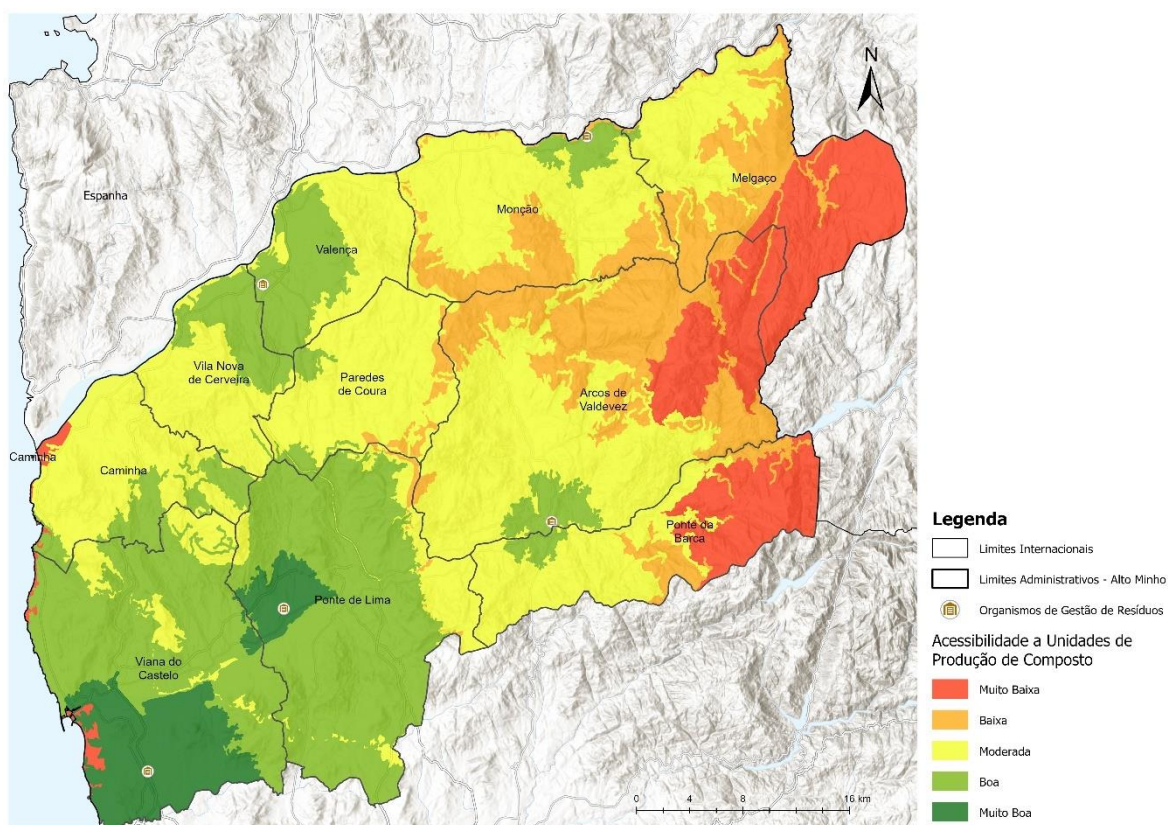


Figura 4. 16 – Acessibilidade às unidades de produção de composto.

A acessibilidade às unidades de produção de composto, resultante da multiplicação entre os dois critérios anteriores, indica que cerca de um terço do território possui uma acessibilidade ao composto orgânico boa ou muito boa. Como seria expectável, esses locais estão circunscritos às áreas em redor dos OGR, com especial destaque para as

localidades mais litorais, pela maior presença humana e conseqüente geração de composto através da valorização orgânica de biorresíduos (Figura 4. 16).

Quadro 4. 14 – Distribuição percentual da acessibilidade de composto orgânico para a AB

Acessibilidade de Composto para AB				
Muito Baixa	Baixa	Moderada	Boa	Muito Boa
11,0%	13,9%	41,4%	28,0%	5,7%

4.4.3. Aptidão para conversão em MPB em função da acessibilidade de composto orgânico

Os resultados da relação da carta de aptidão técnico-económica para a conversão em MPB com a carta de acessibilidade de composto orgânico apontam que cerca de 15% da área de estudo se encontra impossibilitada de fazer agricultura qualquer que seja o modo de produção, por via de ocupações de solo artificializadas, massas de água superficiais e zonas de montanha de rocha nua. As zonas com aptidão baixa e muita baixa, situam-se sobretudo em zonas de média a alta altitude e com maiores limitações de acessibilidade aos núcleos habitacionais. As melhores classes de aptidão técnico-económica e facilidade de acesso a fertilizantes orgânicos geradas pelo modelo desenvolvido representam cerca de 25% da totalidade da área de estudo. Estes locais dizem respeito sobretudo às zonas de vale de média e baixa altitude, destacando-se aqui as áreas agrosilvopastoris periurbanas (Figura 4. 17).

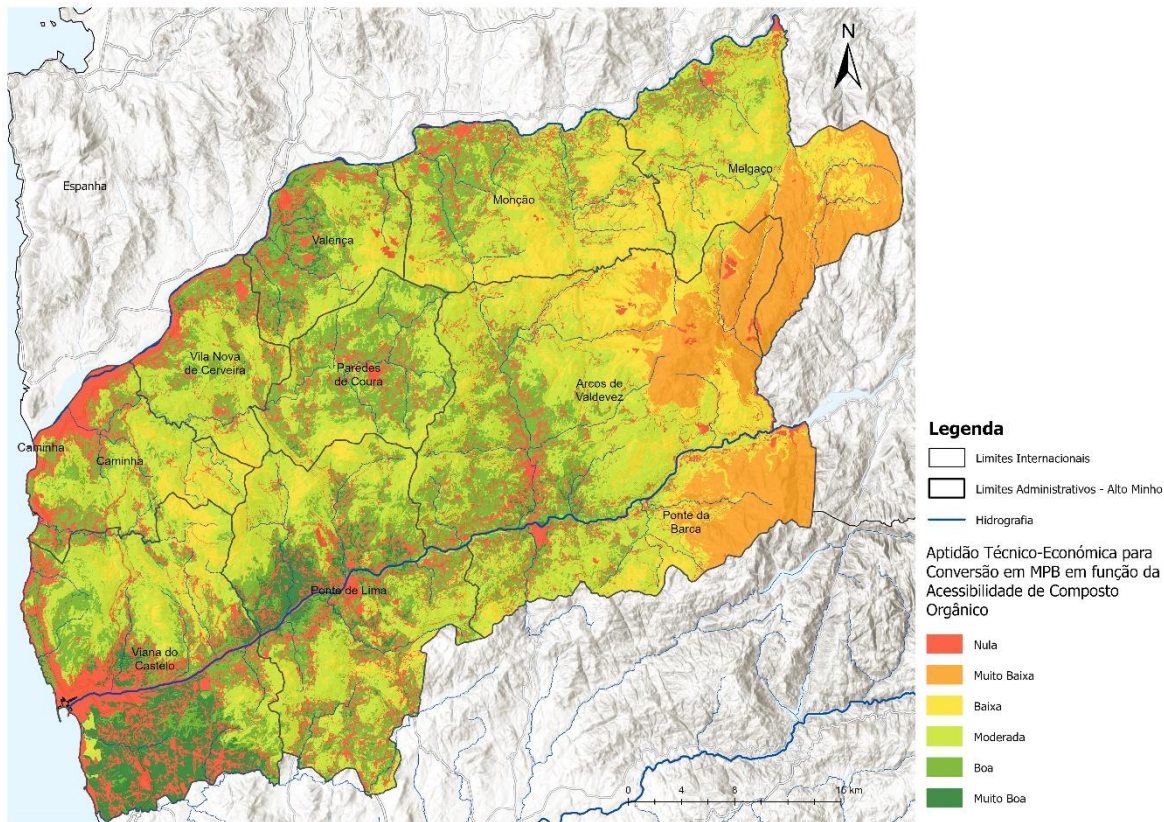


Figura 4. 17 – Carta de aptidão técnico-económica para conversão em MPB em função da facilidade de acesso a composto orgânico

Quadro 4. 15 - Distribuição percentual das classes de aptidão técnico-económica para a conversão em MPB em função da facilidade de acesso a composto orgânico

Classe de Aptidão	Distribuição percentual (%)
Nula	15,20%
Muito Baixa	9,49%
Baixa	14,05%
Moderada	35,79%
Boa	20,88%
Muito Boa	4,59%

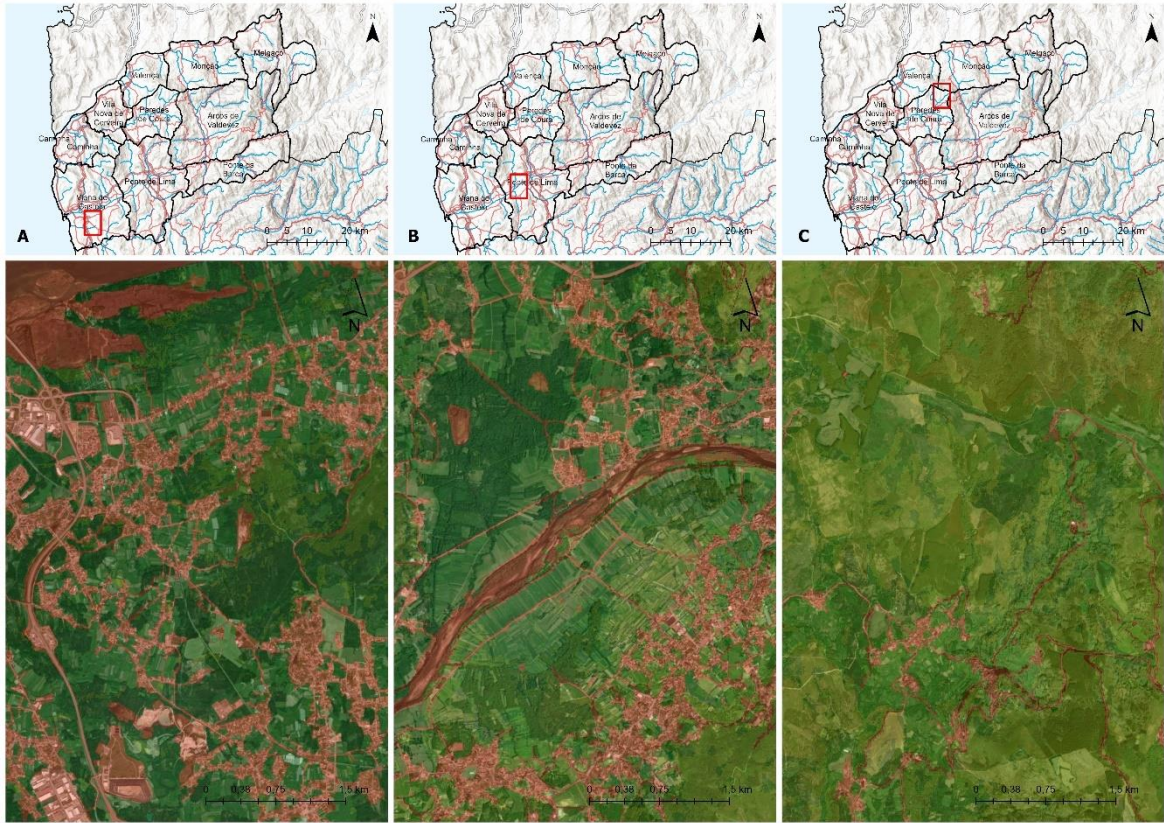


Figura 4. 18 – Carta de pormenor da aptidão técnico-económica para conversão em MPB em função da facilidade de acesso a composto orgânico. A) Área periurbana da margem sul de Viana do Castelo; B) Área predominantemente rural nas margens do rio Lima (Ponte de Lima); C) Zona rural de planalto em Paredes de Coura

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aumento da população global pressiona os agroecossistemas e desta forma, solicita o uso crescente de fertilizantes sintéticos. Em simultâneo, a acumulação de resíduos orgânicos contribui para danos ambientais irreversíveis. A sustentabilidade e o conceito de bioeconomia circular tornaram-se um princípio fundamental dos sistemas e das práticas agrícolas responsáveis. Os princípios da AB e outros modos de produção agrícola sustentáveis, inspiraram investigações para o desenvolvimento de sistemas integrados de tratamento de resíduos orgânicos, recuperação de nutrientes e eficiência energética.

Deste modo, definiram-se: i) objetivos para analisar e otimizar os locais que oferecem condições com maior aptidão para conversão para MPB, considerando critérios de aptidão natural, condicionantes legais e aspetos socioeconómicos associados à proximidade ao mercado; ii) bem como a disponibilidade e explorabilidade de fertilizantes orgânicos, produzidos a partir de resíduos orgânicos, gerados em diferentes fases das cadeias de abastecimento até ao consumidor.

Os resultados mostram o potencial regional/local para a AB quase de forma transversal a todo o distrito. A aptidão técnico-económica considera o esforço/possibilidade de conversão para o MPB. Assim a maior aptidão das áreas agroflorestais de baixa a média altitude, próximas às linhas de água, com maior destaque para as áreas periurbanas na proximidade do núcleo urbano de Viana do Castelo, Ponte de Lima e outras centralidades é influenciada pela proximidade aos consumidores/locais de consumo. Os dois municípios com maior número de habitantes e densidade de agentes económicos, traduz-se na geração de uma maior quantidade de biorresíduos e consequentemente numa produção e valorização de fertilizantes orgânicos.

Contudo, importa considerar outros usos alternativos para estas áreas não apenas a nível de custos/esforços de investimento, mas, também, na ótica de comercialização. Urge assim a necessidade de criar estruturas e circuitos de comercialização próximos e viáveis que garantam possibilidade de crescimento e expansão destes modos de produção para áreas de menor densidade populacional com uma aposta em eventos de comercialização/consumo local e aposta em produtos transformados e/de baixa perecibilidade.

Estes processos implicam mudanças, planeamento, mais sensibilização/apoio técnico para a produção e um programa de transição devidamente estruturado à escala regional,

coerente no tempo e espaço e ancorado às devidas estratégias de inovação e governança para uma bioeconomia circular.

A quantidade e a diversidade de tipologias de resíduos orgânicos indicam um elevado potencial para exploração destes biorrecursos na região. No entanto, a explorabilidade dos mesmos remete, em primeiro lugar, para além do preenchimento das listas de unidades e geocodificação, uma análise/recolha da quantidade e tipologia da produção efetiva e cada potencial de cada produtor de resíduos orgânicos. Em simultâneo, uma análise e definição logística com dados técnicos dos custos de recolha e da eficiência de processos de valorização para explorar cenários alternativos de localização, dimensionamento e gestão das soluções para as unidades de valorização.

Em termos logísticos, apesar de ser preferencial a valorização *in situ* (na exploração, na indústria ou na comunidade), os princípios e estratégias da bioeconomia circular fomentam a criação de um leque de novos produtos e empregos verdes para um novo mercado de biorrecursos (BIC, 2017).

Por outro lado, por questões de dimensão ou tipo de atividade, uma exploração agrícola ou empresa/indústria poderá apresentar soluções circulares internas. Porém, a circularidade pode ser alcançada através de estratégias integradas e colaborativas a nível local. Os elevados custos logísticos poderão comprometer a viabilidade para uma valorização eficiente de biorrecursos, especialmente em zonas rurais. Assim, a implementação/dinamização de associações/cooperativas agroindustriais pode constituir uma solução para ultrapassar estas barreiras em zonas rurais, através de uma rede organizada de produtores de resíduos orgânicos para a sua valorização à escala local. (Jesus et al., 2021).

A grande diversidade e quantidade de locais/unidades de produção de resíduos orgânicos (entre códigos LER) adequam-se, na sua grande maioria, a matérias-primas como fertilizantes ou no fabrico de fertilizantes comerciais autorizados em AB.

Por outro lado, existem outros códigos LER referentes a tipologias de resíduos orgânicos que, apesar de não se encontrarem em conformidade com a legislação comunitária que rege estas matérias-primas, possuem potencial de valorização, seja através de valorização orgânica em outros modos de produção agrícola ou florestal. Assim, importa continuar a avaliação da distribuição e explorabilidade de todos os resíduos orgânicos regionais como forma de aumentar/escalar esta experiência na valorização de produção agroflorestal ou em

algum outro modo de valorização em novos produtos e aplicações de valor acrescentado de acordo com a pirâmide de valor da bioeconomia circular.

O potencial disruptivo das tecnologias digitais será uma mais-valia na aplicação/fundamentação efetiva dos princípios da bioeconomia circular (Bressanelli et al., 2022), que permita a transformação de resíduos em recursos, recorrendo aos resíduos, bem como a dados/informação espacial como suporte a estratégias de planeamento inteligentes. No final, pretende-se gerar maior conhecimento dos fluxos de massa e energia das dinâmicas socioeconómicas de forma a criar valor em prol da sustentabilidade.

A transição de “organismos de gestão de resíduos” para “organismos de gestão de recursos”, implica transformações e inovações cruciais, alavancadas não apenas por metas de redução e reciclagem de resíduos orgânicos, mas também por questões agroecológicas, que combinadas, exigem maior conhecimento e segregação de fluxos de resíduos orgânicos para uma substituição eficaz e proativa de matérias-primas de síntese.

O modelo espacialmente explícito, incluindo a AHP combinada com a análise multicritério revelou-se útil na evolução desde a cartografia de aptidão técnico-económica. Por outro lado, a análise de redes teve um papel chave no processo de otimização das áreas com melhor aptidão em função dos locais de maior produção de fertilizantes orgânicos. Nesse sentido importa continuar o esforço de localizar e caracterizar tipos e quantidades de resíduos orgânicos, bem como de explorar/testar processos de valorização para definir soluções/sistemas efetivos, maduros e viáveis à escala territorial.

Esta abordagem permite otimizar recursos, reduzir o uso de fatores de produção externos e melhorar a resiliência ecológica e económica das explorações agrícolas. Estes processos implicam mudanças, planeamento, mais sensibilização e um programa de transição devidamente estruturado à escala regional, coerente no tempo e espaço e ancorado às devidas estratégias de governança. Sublinha-se ainda a necessidade de políticas de apoio mais robustas e de iniciativas locais que fomentem a adoção de práticas de AB, a dinamização e suporte à bioeconomia e a gestão sustentável de resíduos.

6. RERERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrobio. (2017). Sessão de Diculgação do "Modo de Produção Biológico" - Controlo, Certificação e Conversão. Lisboa: Agrobio – Associação Portuguesa de Agricultura Biológica.
- Ahern, J. (1999). Spatial Concepts, Planning Strategies, and Future Scenarios: A Framework Method for Integrating Landscape Ecology and Landscape Planning. In J. M. Klopatek & R. H. Gardner (Eds.), *Landscape Ecological Analysis: Issues and Applications* (pp. 175-201). New York, NY: Springer New York.
- Akıncı, H., Özalp, A. Y., & Turgut, B. (2013). Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique. *Computers and Electronics in Agriculture*, 97, 71-82. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.07.006>
- Ambiente, S. d. E. d. (2020). *Estratégia dos Biorresíduos - Biorresíduos - Contas Certas nos Resíduos* Lisboa, Portugal.
- Anderson, A., Miller, G., & Burras, L. (2023). Soil Judging in Iowa - Stoniness or Rockiness. Iowa State University
- APA. (2015). Exclusões de âmbito RGGR, Biorresíduos e resíduos biodegradáveis (pp. 10). Lisboa, Portugal: Agência Portuguesa do Ambiente.
- APA. (2020). Guia de Classificação de Resíduos. In A. P. d. Ambiente (Ed.), (2 ed., pp. 123). Lisboa, Portugal: Agência Portuguesa do Ambiente.
- APA. (2021). Guia para a classificação e registo de dados de subproduto *Ficha Técnica*. Lisboa, Portugal: Agência Portuguesa do Ambiente.
- APA. (2022). *Relatório Anual Resíduos Urbanos 2021* Retrieved from Amadora, Portugal:
- Ashokkumar, V., Flora, G., Venkatkarthick, R., SenthilKannan, K., Kuppam, C., Stephy, G. M., . . . Ngamcharussrivichai, C. (2022). Advanced technologies on the sustainable approaches for conversion of organic waste to valuable bioproducts: Emerging circular bioeconomy perspective. *Fuel*, 324, 124313. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124313>
- Bandyopadhyay, S., Jaiswal, R. K., Hegde, V. S., & Jayaraman, V. (2009). Assessment of land suitability potentials for agriculture using a remote sensing and GIS based approach. *International Journal of Remote Sensing*, 30(4), 879-895. doi:10.1080/01431160802395235
- Bank, W. (2020). What a Waste. *Trens in Solid Waste Management*. Retrieved from <https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends-in-solid-waste-management.html>
- Barbieri, P., Pellerin, S., Seufert, V., & Nesme, T. (2019). Changes in crop rotations would impact food production in an organically farmed world. *Nature Sustainability*, 2. doi:10.1038/s41893-019-0259-5
- Beltrán-Ramírez, F. I., Ramos-deValle, L. F., Ramírez-Vargas, E., Cabrera-Alvarez, E., Sánchez-Valdes, S., Espinoza-Martínez, A., . . . Esparza-Claudio, J. J. (2019). Study of the Addition of a Thermoplastic Vulcanizate to a HDPE Composite Highly Filled with Magnesium Hydroxide and Its Effect on the Tensile and Flame Retardant Properties. *Journal of Nanomaterials*, 2019, 4350870. doi:10.1155/2019/4350870
- BIC. (2017). *Strategic Innovation and Research Agenda*. Retrieved from Brussels, Belgium:
- Boer, I. J. M. d., & Ittersum, M. K. v. (2018). *Circularity in Agricultural Production* W. U. Research (Ed.)

- Bommarco, R., Vico, G., & Hallin, S. (2018). Exploiting ecosystem services in agriculture for increased food security. *Global Food Security*, 17. doi:10.1016/j.gfs.2018.04.001
- Brandão, A. S., Gonçalves, A., & Santos, J. M. R. C. A. (2021). Circular bioeconomy strategies: From scientific research to commercially viable products. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126407. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126407>
- Bressanelli, G., Adrodegari, F., Pigosso, D. C. A., & Parida, V. (2022). Towards the Smart Circular Economy Paradigm: A Definition, Conceptualization, and Research Agenda. *Sustainability*, 14(9). Retrieved from doi:10.3390/su14094960
- Brito, L. M. (2016). *Fertilidade do solo e fertilização das culturas*. Escola Superior Agrária - Instituto Politécnico de Viana do Castelo.
- Casau, M., Dias, M. F., Matias, J. C. O., & Nunes, L. J. R. (2022). Residual Biomass: A Comprehensive Review on the Importance, Uses and Potential in a Circular Bioeconomy Approach. *Resources*, 11(4). Retrieved from doi:10.3390/resources11040035
- Cazorla, I., Utsumi, M. C., & Oliveira, T. C. d. (2020). Reflexões sobre o ensino de tabelas de dupla entrada a partir do raciocínio inferencial informal. *Hipátia: revista brasileira de história, educação e matemática*, 5(2), 246-270.
- Cesaro, A. (2021). The valorization of the anaerobic digestate from the organic fractions of municipal solid waste: Challenges and perspectives. *Journal of Environmental Management*, 280, 111742. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111742>
- Church, R., & Medrano, F. (2018). Location-allocation Modeling. *Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge*, 2018. doi:10.22224/gistbok/2018.3.4
- CIRAD. (2013). *2013 Annual Report - Results and prospects*. Retrieved from
- Clark, M., & Tilman, D. (2017). Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice. *Environmental Research Letters*, 12, 064016. doi:10.1088/1748-9326/aa6cd5
- Collins, M. G., Steiner, F. R., & Rushman, M. J. (2001). Land-use suitability analysis in the United States: Historical development and promising technological achievements. *Environmental Management*, 28(5), 611-621. doi:10.1007/s002670010247
- Uma bioeconomia sustentável na Europa: Reforçar as ligações entre a economia, a sociedade e o ambiente, (2018).
- Um novo Plano de Ação para a Economia Circular, (2020).
- Regulamento de Execução (UE) 2021/1165 da Comissão, 2021/1165 C.F.R. (2021).
- Commission, E. (2020). *Farm to Fork Strategy - For a fair, healthy and environmentally-friendly food system*. Retrieved from https://ec.europa.eu/food/system/files/2020-05/f2f_action-plan_2020_strategy-info_en.pdf.
- Regulamento (UE) 2018/848, 2018/848 C.F.R. (2018).
- REGULAMENTO (UE) 2019/1009 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO, 2019/1009 C.F.R. (2019).
- CVR. (2021). Biorresíduos, o que são? Retrieved from <https://www.evresiduos.pt/pt/comunicacao/2021/05/05/biorresiduos-o-que-sao>
- Czekała, W., Nowak, M., & Piechota, G. (2023). Sustainable management and recycling of anaerobic digestate solid fraction by composting: A review. *Bioresour Technol*, 375, 128813. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128813>
- Dalezios, N., Dercas, N., Spyropoulos, N., & Psomiadis, E. (2019). Remotely Sensed Methodologies for Crop Water Availability and Requirements in Precision Farming

- of Vulnerable Agriculture. *Water Resources Management*, 33, 1499–1519. doi:10.1007/s11269-018-2161-8
- De Corato, U. (2021). Effect of value-added organic co-products from four industrial chains on functioning of plant disease suppressive soil and their potentiality to enhance soil quality: A review from the perspective of a circular economy. *Applied Soil Ecology*, 168, 104221. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104221>
- de Ponti, T., Rijk, B., & van Ittersum, M. K. (2012). The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agricultural Systems*, 108, 1-9. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.12.004>
- Dey, T., Bhattacharjee, T., Nag, P., Ritika, Ghata, A., & Kuila, A. (2021). Valorization of agro-waste into value added products for sustainable development. *Bioresource Technology Reports*, 16, 100834. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100834>
- DGADR. (2023). Modo de Produção Biológico. Retrieved from <https://www.dgadr.gov.pt/19-modos-de-producao-sustentavel/91-prodbiologica>
- Divanbeigi, R., & Ramalho, R. (2015). *Business Regulations and Growth*.
- Donner, M., Erraach, Y., López-i-Gelats, F., Manuel-i-Martin, J., Yatribi, T., Radić, I., & Hadad-Gauthier, F. E. (2022). Circular bioeconomy for olive oil waste and by-product valorisation: Actors' strategies and conditions in the Mediterranean area. *Journal of Environmental Management*, 321, 115836. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115836>
- Effat, H. A., & Hassan, O. A. (2013). Designing and evaluation of three alternatives highway routes using the Analytical Hierarchy Process and the least-cost path analysis, application in Sinai Peninsula, Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 16(2), 141-151. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2013.08.001>
- Erb, K.-H., Lauk, C., Kastner, T., Mayer, A., Theurl, M. C., & Haberl, H. (2016). Exploring the biophysical option space for feeding the world without deforestation. *Nature Communications*, 7(1), 11382. doi:10.1038/ncomms11382
- ESA-IPVC. (2020). *TERR@ENO - Terroir e zonagem agro-ecológica como fator crítico de competitividade e inovação dos Vinhos Verdes*. Retrieved from Viana do Castelo, Portugal:
- ESRI. (2022). What is the ArcGIS Network Analyst extension? Retrieved from <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/networks/what-is-network-analyst.htm>
- ESRI. (2023a). Generate Service Areas (Ready To Use). Retrieved from <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/ready-to-use/itemdesc-generate-service-areas.htm#:~:text=A%20network%20service%20area%20is,10%20minutes%20from%20that%20facility.>
- ESRI. (2023b). Location-allocation analysis layer. Retrieved from <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/networks/location-allocation-analysis-layer.htm>
- European, C., & Directorate-General for, E. (2011). *Preparatory study on food waste across EU 27 – Final report*: Publications Office.
- EuropeanCommission. (2012). *Innovating for sustainable growth : a bioeconomy for Europe*: Publications Office.
- EuropeanCommission. (2015). Closing the loop—An EU action plan for the circular economy: European Commission Brussels, Belgium.

- Ewel, J. J., Schreeg, L. A., & Sinclair, T. R. (2019). Resources for Crop Production: Accessing the Unavailable. *Trends Plant Sci*, 24(2), 121-129. doi:10.1016/j.tplants.2018.10.008
- EY. (2019). *Estudo prévio sobre a implementação da recolha seletiva em Portugal Continental incidindo em especial sobre o fluxo dos biorresíduos*. Retrieved from Lisboa, Portugal:
- FAO. (1976). *A Framework for Land Evaluation, Soil Bulletin 32* (Soil Bulletin 32 ed. Vol. Soil Bulletin 32). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2006). *CODEX ALIMENTARIUS - ORGANICALLY PRODUCED FOODS* F. W. F. S. P. C. A. COMMISSION (Ed.)
- Foray, D., David, P. A., & Hall, B. H. (2011). *Smart specialisation From academic idea to political instrument, the surprising career of a concept and the difficulties involved in its implementation*.
- García, J. L., Alvarado, A., Blanco, J., Jiménez, E., Maldonado, A. A., & Cortés, G. (2014). Multi-attribute evaluation and selection of sites for agricultural product warehouses based on an Analytic Hierarchy Process. *Computers and Electronics in Agriculture*, 100, 60-69. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.10.009>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Gopinath, K., Venkateswarlu, B., Mina, B. L., Nataraja, K. C., Devi, K. G., & Karmegam, N. (2010). Utilization of vermicompost as a soil amendment in organic crop production. *Global Science Books, Dynamic Soil, Dynamic Plant*.
- Hetemäki, L., Hanewinkel, M., Muys, B., Ollikainen, M., Palahí, M., & Trasobares, A. (2017). *Leading the way to a European circular bioeconomy strategy* (Vol. 5): Science to Policy 5. European Forest Institute.
- Hopkins, L. D. (1977). Methods for Generating Land Suitability Maps: A Comparative Evaluation. *Journal of the American Institute of Planners*, 43(4), 386-400. doi:10.1080/01944367708977903
- Houser, M., & Stuart, D. (2020). An Accelerating Treadmill and Overlooked Contradiction in Industrial Agriculture: Climate Change and Nitrogen Fertilizer. *Journal of Agrarian Change*, 20. doi:10.1111/joac.12341
- Huang, S., Zheng, X., Luo, L., Ni, Y., Yao, L., & Ni, W. (2021). Biostimulants in bioconversion compost of organic waste: A novel booster in sustainable agriculture. *Journal of Cleaner Production*, 319, 128704. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128704>
- INE. (2022). *Resultados Provisórios dos Censos 2021 - Base Geográfica de Referência de Informação (BGRI) - GEOPACKAGE*. Retrieved from Lisboa, Portugal:
- IPCC. (2019). *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Retrieved from
- Jankowski, P. (1995). Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. *International journal of geographical information systems*, 9(3), 251-273. doi:10.1080/02693799508902036
- Jesus, R. H. G. d., Barros, M. V., Salvador, R., Souza, J. T. d., Piekarski, C. M., & Francisco, A. C. d. (2021). Forming clusters based on strategic partnerships and circular economy for biogas production: A GIS analysis for optimal location.

- Biomass and Bioenergy*, 150, 106097.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106097>
- Jurgilevich, A., Birge, T., Kentala-Lehtonen, J., Korhonen-Kurki, K., Pietikäinen, J., Saikku, L., & Schösler, H. (2016). Transition towards Circular Economy in the Food System. *Sustainability*, 8(1), 69.
- Kardung, M., Cingiz, K., Costenoble, O., Delahaye, R., Heijman, W., Lovrić, M., . . . Zhu, B. X. (2021). Development of the Circular Bioeconomy: Drivers and Indicators. *Sustainability*, 13(1). Retrieved from doi:10.3390/su13010413
- Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., & Woerden, F. V. (2018). *What a Waste 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington DC: World Bank.
- Le Pera, A., Sellaro, M., & Bencivenni, E. (2022). Composting food waste or digestate? Characteristics, statistical and life cycle assessment study based on an Italian composting plant. *Journal of Cleaner Production*, 350, 131552. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131552>
- Li, C., Hoffland, E., Kuyper, T. W., Yu, Y., Zhang, C., Li, H., . . . van der Werf, W. (2020). Syndromes of production in intercropping impact yield gains. *Nat Plants*, 6(6), 653-660. doi:10.1038/s41477-020-0680-9
- Lin, C., Pfaltzgraff, L., Herrero Davila, L., Mubofu, E., Solhy, A., Clark, J., . . . Luquek, c. (2013). Food waste as a valuable resource for the production of chemicals, materials and fuels. Current situation and global perspective. *Energy & Environmental Science*, 6, 426-464. doi:10.1039/C2EE23440H
- Liu, X., Xie, Y., & Sheng, H. (2023). Green waste characteristics and sustainable recycling options. *Resources, Environment and Sustainability*, 11, 100098. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resenv.2022.100098>
- Lizundia, E., Luzi, F., & Puglia, D. (2022). Organic waste valorisation towards circular and sustainable biocomposites. *Green Chemistry*, 24(14), 5429-5459. doi:10.1039/D2GC01668K
- Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in Planning*, 62(1), 3-65. doi:<https://doi.org/10.1016/j.progress.2003.09.002>
- Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703-726. doi:10.1080/13658810600661508
- Martin, G., Moraine, M., Ryschawy, J., Magne, M.-A., Asai, M., Sarthou, J.-P., . . . Therond, O. (2016). Crop–livestock integration beyond the farm level: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(3), 53. doi:10.1007/s13593-016-0390-x
- McCormick, K., & Kautto, N. (2013). The Bioeconomy in Europe: An Overview. *Sustainability*, 5(6), 2589-2608. Retrieved from doi:10.3390/su5062589
- Mishra, A. K., Deep, S., & Choudhary, A. (2015). Identification of suitable sites for organic farming using AHP & GIS. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(2), 181-193. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.06.005>
- Morais, T. G., Teixeira, R. F. M., Lauk, C., Theurl, M. C., Winiwarter, W., Mayer, A., . . . Erb, K. H. (2021). Agroecological measures and circular economy strategies to ensure sufficient nitrogen for sustainable farming. *Global Environmental Change*, 69, 102313. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102313>
- Mueller, N., & Lassaletta, L. (2020). Nitrogen challenges in global livestock systems. *Nature Food*, 1, 400-401. doi:10.1038/s43016-020-0117-7

- Nizami, A. S., Rehan, M., Waqas, M., Naqvi, M., Ouda, O. K. M., Shahzad, K., . . . Pant, D. (2017). Waste biorefineries: Enabling circular economies in developing countries. *Bioresour Technol*, 241, 1101-1117. doi:10.1016/j.biortech.2017.05.097
- Nowak, B., Nesme, T., David, C., & Pellerin, S. (2013). To what extent does organic farming rely on nutrient inflows from conventional farming. *Environmental Research Letters*, 8. doi:10.1088/1748-9326/8/4/044045
- O'Connor, J., Mickan, B. S., Rinklebe, J., Song, H., Siddique, K. H. M., Wang, H., . . . Bolan, N. S. (2022). Environmental implications, potential value, and future of food-waste anaerobic digestate management: A review. *Journal of Environmental Management*, 318, 115519. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115519>
- OECD. (2019). *Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences*. Paris: OECD.
- Oldfield, T. L., White, E., & Holden, N. M. (2016). An environmental analysis of options for utilising wasted food and food residue. *Journal of Environmental Management*, 183, 826-835. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.035>
- Park, S., Jeon, S., Kim, S., & Choi, C. (2011). Prediction and comparison of urban growth by land suitability index mapping using GIS and RS in South Korea. *Landscape and Urban Planning*, 99(2), 104-114. doi:<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.09.001>
- Pérez-delHoyo, R., & Mora, H. (2019). Toward a New Sustainable Development Model for Smart Villages. In A. Visvizi, M. D. Lytras, & G. Mudri (Eds.), *Smart Villages in the EU and Beyond* (pp. 49-62): Emerald Publishing Limited.
- Pfau, S. F., Hagens, J. E., Dankbaar, B., & Smits, A. J. M. (2014). Visions of Sustainability in Bioeconomy Research. *Sustainability*, 6(3), 1222-1249. Retrieved from doi:10.3390/su6031222
- Právělie, R., Patriche, C., Borrelli, P., Panagos, P., Roşca, B., Dumitraşcu, M., . . . Bando, G. (2021). Arable lands under the pressure of multiple land degradation processes. A global perspective. *Environmental Research*, 194, 110697. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110697>
- Refsgaard, K., Kull, M., Slätmo, E., & Meijer, M. W. (2021). Bioeconomy – A driver for regional development in the Nordic countries. *New Biotechnology*, 60, 130-137. doi:<https://doi.org/10.1016/j.nbt.2020.10.001>
- Reganold, J. P., & Wachter, J. M. (2016). Organic agriculture in the twenty-first century. *Nat Plants*, 2(2), 15221. doi:10.1038/nplants.2015.221
- Reimer, M., Hartmann, T. E., Oelofse, M., Magid, J., Bünemann, E. K., & Möller, K. (2020). Reliance on Biological Nitrogen Fixation Depletes Soil Phosphorus and Potassium Reserves. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 118(3), 273-291. doi:10.1007/s10705-020-10101-w
- Robles, Á., Aguado, D., Barat, R., Borrás, L., Bouzas, A., Giménez, J. B., . . . Seco, A. (2020). New frontiers from removal to recycling of nitrogen and phosphorus from wastewater in the Circular Economy. *Bioresour Technol*, 300, 122673. doi:10.1016/j.biortech.2019.122673
- Rodríguez, R., Gauthier-Maradei, P., & Escalante, H. (2017). Fuzzy spatial decision tool to rank suitable sites for allocation of bioenergy plants based on crop residue. *Biomass and Bioenergy*, 100, 17-30. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.03.007>
- Röös, E., Mie, A., Wivstad, M., Salomon, E., Johansson, B., Gunnarsson, S., . . . Watson, C. A. (2018). Risks and opportunities of increasing yields in organic farming. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(2), 14. doi:10.1007/s13593-018-0489-3

- Rowan, M., Umenweke, G. C., Epelle, E. I., Afolabi, I. C., Okoye, P. U., Gunes, B., & Okolie, J. A. (2022). Anaerobic co-digestion of food waste and agricultural residues: An overview of feedstock properties and the impact of biochar addition. *Digital Chemical Engineering*, 4, 100046. doi:<https://doi.org/10.1016/j.dche.2022.100046>
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281. doi:[https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Saaty, T. L. (1991). *Método de Análise Hierárquica*. São Paulo, Brazil: McGraw-Hill.
- Salvador, R., Barros, M. V., Donner, M., Brito, P., Halog, A., & Francisco, A. C. D. (2022). How to advance regional circular bioeconomy systems? Identifying barriers, challenges, drivers, and opportunities. *Sustainable Production and Consumption*, 32, 248-269. doi:<https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.04.025>
- Schaller, J., & Mattos, C. (2009, 2009//). *Gis Model Applications for Sustainable Development and Environmental Planning at the Regional Level*. Paper presented at the GeoSpatial Visual Analytics, Dordrecht.
- Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. Geneva, Switzerland: World Economic Forum.
- Seufert, V., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2012). Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, 485(7397), 229-232. doi:10.1038/nature11069
- Sharma, B., Vaish, B., Monika, Singh, U. K., Singh, P., & Singh, R. P. (2019). Recycling of Organic Wastes in Agriculture: An Environmental Perspective. *International Journal of Environmental Research*, 13(2), 409-429. doi:10.1007/s41742-019-00175-y
- Sheridan, K. (2016). Making the Bioeconomy Circular: The Biobased Industries' Next Goal? *Industrial Biotechnology*, 12(6), 339-340. doi:10.1089/ind.2016.29057.ksh
- Smith, L. G., Kirk, G. J. D., Jones, P. J., & Williams, A. G. (2019). The greenhouse gas impacts of converting food production in England and Wales to organic methods. *Nature Communications*, 10(1), 4641. doi:10.1038/s41467-019-12622-7
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., . . . Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855. doi:10.1126/science.1259855
- Stegmann, P., Londo, M., & Junginger, M. (2020). The circular bioeconomy: Its elements and role in European bioeconomy clusters. *Resources, Conservation & Recycling: X*, 6, 100029. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2019.100029>
- Stubenrauch, J., Ekardt, F., Heyl, K., Garske, B., Schott, V. L., & Ober, S. (2021). How to legally overcome the distinction between organic and conventional farming - Governance approaches for sustainable farming on 100% of the land. *Sustainable Production and Consumption*, 28, 716-725. doi:<https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.06.006>
- Tan, K. H., & Dowling, P. S. (1984). Effect of organic matter on CEC due to permanent and variable charges in selected temperate region soils. *Geoderma*, 32(2), 89-101. doi:[https://doi.org/10.1016/0016-7061\(84\)90065-X](https://doi.org/10.1016/0016-7061(84)90065-X)
- Theurl, M. C., Lauk, C., Kalt, G., Mayer, A., Kaltenegger, K., Morais, T. G., . . . Haberl, H. (2020). Food systems in a zero-deforestation world: Dietary change is more important than intensification for climate targets in 2050. *Science of The Total Environment*, 735, 139353. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139353>
- Tsui, T., Derumigny, A., Peck, D., van Timmeren, A., & Wandl, A. (2022). Spatial clustering of waste reuse in a circular economy: A spatial autocorrelation analysis

- on locations of waste reuse in the Netherlands using global and local Moran's I. *Frontiers in Built Environment*, 8. doi:10.3389/fbuil.2022.954642
- USDA. (2011). Soil Quality Indicators - Soil pH: USDA Natural Resources Conservation Service.
- Van Zanten, H., Herrero, M., Van Hal, O., Rööös, E., Muller, A., Garnett, T., . . . De Boer, I. (2018). Defining a land boundary for sustainable livestock consumption. *Glob Chang Biol*, 24(9), 4185-4194. doi:10.1111/gcb.14321
- Van Zanten, H., Van Ittersum, M., & De Boer, I. (2019). The role of farm animals in a circular food system. *Global Food Security*, 21, 18-22. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.06.003>
- Venkatesh, G. (2022). Circular Bio-economy—Paradigm for the Future: Systematic Review of Scientific Journal Publications from 2015 to 2021. *Circular Economy and Sustainability*, 2(1), 231-279. doi:10.1007/s43615-021-00084-3
- Wang, F., Hall, G. B., & Subaryono. (1990). Fuzzy information representation and processing in conventional GIS software: database design and application. *International journal of geographical information systems*, 4(3), 261-283. doi:10.1080/02693799008941546
- Wang, W., Chang, J.-S., & Lee, D.-J. (2023). Anaerobic digestate valorization beyond agricultural application: Current status and prospects. *Bioresour Technol*, 373, 128742. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128742>
- Westlund, H., & Kobayashi, K. (2013). Social capital and sustainable urban-rural relationships in the global knowledge society (pp. 1-18).
- Wolski, O., & Wójcik, M. (2019). Smart Villages Revisited: Conceptual Background and New Challenges at the Local Level. In A. Visvizi, M. D. Lytras, & G. Mudri (Eds.), *Smart Villages in the EU and Beyond* (pp. 29-48): Emerald Publishing Limited.
- Yang, X., Choi, H. S., Park, C., & Kim, S. W. (2015). Current states and prospects of organic waste utilization for biorefineries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 335-349. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.114>
- Yu, J., Chen, Y., Wu, J., & Khan, S. (2011). Cellular automata-based spatial multi-criteria land suitability simulation for irrigated agriculture. *International Journal of Geographical Information Science*, 25(1), 131-148. doi:10.1080/13658811003785571
- Zolekar, R. B., & Bhagat, V. S. (2015). Multi-criteria land suitability analysis for agriculture in hilly zone: Remote sensing and GIS approach. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118, 300-321. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.09.016>
- Zubaryeva, A., Zaccarelli, N., Del Giudice, C., & Zurlini, G. (2012). Spatially explicit assessment of local biomass availability for distributed biogas production via anaerobic co-digestion – Mediterranean case study. *Renewable Energy*, 39(1), 261-270. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.08.021>
- Zuin, V. G., & Ramin, L. Z. (2018). Green and Sustainable Separation of Natural Products from Agro-Industrial Waste: Challenges, Potentialities, and Perspectives on Emerging Approaches. *Topics in Current Chemistry*, 376(1), 3. doi:10.1007/s41061-017-0182-z

ANEXOS

Anexo I – Classificação da intensidade do uso do solo e do esforço de transformação da terra em função das classes de uso e ocupação do solo da COS2018 para o Alto Minho

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Esforço	Intensidade	
1. Territórios artificializados	1.1. Tecido edificado	1.1.1. Tecido edificado contínuo	1.1.1.1. Tecido edificado contínuo predominantemente vertical	0	0	
			1.1.1.2. Tecido edificado contínuo predominantemente horizontal	0	0	
		1.1.2. Tecido edificado descontínuo	1.1.2.1. Tecido edificado descontínuo	0	0	
			1.1.2.2. Tecido edificado descontínuo esparso	0	0	
		1.1.3. Espaços vazios em tecido edificado	1.1.3.1. Áreas de estacionamento e logradouros	0	0	
			1.1.3.2. Espaços vazios sem construção	0	0	
	1.2. Indústria, comércio e instalações agrícolas	1.2.1. Indústria	1.2.1.1. Indústria	0	0	
		1.2.2. Comércio	1.2.2.1. Comércio	0	0	
		1.2.3. Instalações agrícolas	1.2.3.1. Instalações agrícolas	0	0	
	1.3. Infraestruturas	1.3.1. Infraestruturas de produção de energia	1.3.1.1. Infraestruturas de produção de energia renovável	0	0	
			1.3.1.2. Infraestruturas de produção de energia não renovável	0	0	
		1.3.2. Infraestruturas de águas e tratamento de resíduos	1.3.2.1. Infraestruturas para captação, tratamento e abastecimento de águas para consumo	0	0	
			1.3.2.2. Infraestruturas de tratamento de resíduos e águas residuais	0	0	
		1.4. Transportes	1.4.1. Redes viárias e ferroviárias e espaços associados	1.4.1.1. Rede viária e espaços associados	0	0
				1.4.1.2. Rede ferroviária e espaços associados	0	0
	1.4.2. Áreas portuárias		1.4.2.1. Terminais portuários de mar e de rio	0	0	
			1.4.2.3. Marinas e docas pesca	0	0	
	1.4.3. Aeroportos e aeródromos	1.4.3.2. Aeródromos	0	0		
	1.5. Áreas de extração de	1.5.1. Áreas de extração de inertes	1.5.1.2. Pedreiras	0	0	

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Esforço	Intensidade	
2. Agricultura	inertes, áreas de deposição de resíduos e estaleiros de construção	1.5.2. Áreas de deposição de resíduos	1.5.2.1. Aterros	0	0	
			1.5.2.2. Lixeiras e Sucatas	0	0	
		1.6. Equipamentos	1.5.3. Áreas em construção	1.5.3.1. Áreas em construção	0	0
				1.6.1. Equipamentos desportivos	1.6.1.1. Campos de golfe	0
			1.6.1.2. Instalações desportivas		0	0
			1.6.2. Equipamentos de lazer e parques de campismo	1.6.2.1. Parques de campismo	0	0
				1.6.2.2. Equipamentos de lazer	0	0
	1.6.3. Equipamentos culturais	1.6.3.1. Equipamentos culturais	0	0		
	1.6.4. Cemitérios	1.6.4.1. Cemitérios	0	0		
	1.6.5. Outros equipamentos e instalações turísticas	1.6.5.1. Outros equipamentos e instalações turísticas	0	0		
	1.7. Parques e jardins	1.7.1. Parques e jardins	1.7.1.1. Parques e jardins	0	0	
	2.1. Culturas temporárias	2.1.1. Culturas temporárias de sequeiro e regadio e arrozais	2.1.1.1. Culturas temporárias de sequeiro e regadio	5	3	
	2.2. Culturas permanentes	2.2.1. Vinhas	2.2.1.1. Vinhas	5	1	
			2.2.2. Pomares	2.2.2.1. Pomares	5	2
	2.3. Áreas agrícolas heterogéneas	2.2.3. Olivais	2.2.3.1. Olivais	5	4	
			2.3.1. Culturas temporárias e/ou pastagens melhoradas associadas a vinha	2.3.1.1. Culturas temporárias e/ou pastagens melhoradas associadas a vinha	5	2
				2.3.1.2. Culturas temporárias e/ou pastagens melhoradas associadas a pomar	5	3
2.3.2. Mosaicos culturais e parcelares complexos		2.3.1.3. Culturas temporárias e/ou pastagens melhoradas associadas a olival	2.3.1.3. Culturas temporárias e/ou pastagens melhoradas associadas a olival	5	5	
			2.3.2.1. Mosaicos culturais e parcelares complexos	5	3	
2.3.3. Agricultura com espaços naturais e seminaturais		2.3.3.1. Agricultura com espaços naturais e seminaturais	2.3.3.1. Agricultura com espaços naturais e seminaturais	5	4	
			2.4.1. Agricultura protegida e viveiros	2.4.1.1. Agricultura protegida e viveiros	5	2
2.4. Agricultura protegida e viveiros	3.1. Pastagens melhoradas e pastagens	3.1.1. Pastagens melhoradas	5	4		
		3.1.2. Pastagens espontâneas	3.1.2.1. Pastagens espontâneas	5	5	
3. Pastagens						

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Esforço	Intensidade	
	espontâneas					
5. Florestas	5.1. Florestas	5.1.1. Florestas de folhosas	5.1.1.2. Florestas de azinheira	1	5	
			5.1.1.3. Florestas de outros carvalhos	1	5	
			5.1.1.4. Florestas de castanheiro	2	5	
			5.1.1.5. Florestas de eucalipto	1	5	
			5.1.1.6. Florestas de espécies invasoras	1	5	
			5.1.1.7. Florestas de outras folhosas	1	5	
			5.1.2.1. Florestas de pinheiro bravo	1	5	
		5.1.2. Florestas de resinosas	5.1.2.2. Florestas de pinheiro manso	1	5	
			5.1.2.3. Florestas de outras resinosas	1	5	
6. Matos	6.1. Matos	6.1.1. Matos	6.1.1.1. Matos	3	5	
7. Espaços descobertos ou com pouca vegetação	7.1. Espaços descobertos ou com pouca vegetação	7.1.1. Praias, dunas e areais	7.1.1.1. Praias, dunas e areais interiores	0	0	
			7.1.1.2. Praias, dunas e areais costeiros	0	0	
		7.1.2. Rocha nua	7.1.2.1. Rocha nua	0	0	
		7.1.3. Vegetação esparsa	7.1.3.1. Vegetação esparsa	4	5	
8. Zonas húmidas	8.1. Zonas húmidas	8.1.1. Zonas húmidas interiores	8.1.1.1. Paus	0	0	
		8.1.2. Zonas húmidas litorais	8.1.2.1. Sapais	0	0	
9. Massas de água superficiais	9.1. Massas de água interiores	9.1.1. Cursos de água	9.1.1.1. Cursos de água naturais	0	0	
			9.1.2.1. Lagos e lagoas interiores artificiais	0	0	
			9.1.2.2. Lagos e lagoas interiores naturais	0	0	
			9.1.2.3. Albufeiras de barragens	0	0	
		9.1.2. Planos de água	9.1.2.4. Albufeiras de represas ou de açudes	0	0	
		9.2. Aquicultura	9.2.1. Aquicultura	9.2.1.1. Aquicultura	0	0
		9.3. Massas de água de transição e costeiras	9.3.3. Desembocaduras fluviais	9.3.3.1. Desembocaduras fluviais	0	0
				9.3.4. Oceano	9.3.4.1. Oceano	0

Anexo II – Classificação da intensidade do uso do solo e do esforço de transformação da terra em função das classes de ocupação das parcelas do iSIP2021 para o Alto Minho

Descrição da Ocupação das Parcelas	Esforço	Intensidade
Área social	0	0
Elemento Linear Linha de Água	0	0
Massas de água	0	0
Vias	0	0
Zonas Húmidas	0	0
Talude ou muro de suporte da vinha	1	1
Vinha	5	1
Cabeceiras de Culturas Permanentes	1	2
Culturas frutícolas	5	2
Culturas protegidas	5	2
Culturas Temporárias	5	3
Misto de culturas permanentes	3	3
Ocupação por classificar	2	3
Outras culturas permanentes	5	3
Outras Superfícies	3	3
Talhadia de Curta Rotação	5	3
Elemento de Paisagem Galeria Ripícola	1	4
Elemento Linear Sebe ou Corta-Vento	1	4
Olival	5	4
Aceiros florestais	1	5
Bosquetes	1	5
Elemento de Paisagem Bosquete	2	5
Espaço florestal arborizado	1	5
Improdutivo	5	5
Pastagem Permanente	5	5
Pastagem Permanente Arbustiva	5	5
Pastagem Permanente Prática Local	5	5
PPE-MX: Pastagem Permanente em Sob Coberto Misto	4	5
PPE-OL: Pastagem Permanente em sob coberto de olival	5	5
PPE-PM: Pastagem Permanente em Sob Coberto de Pinheiro Manso ou Castanheiro	4	5
PPE-QU: Pastagem Permanente em Sob Coberto de Quercíneas	4	5
Sobreiros destinados à produção de cortiça	1	5
Superfície com árvores de espécie a identificar	1	5
Superfície com Vegetação Arbustiva	3	5
Zonas de Proteção / Conservação	1	5

Anexo III – Matriz e ponderação da AHP dos critérios de aptidão natural

Critério	Tipos de Solos	Risco de Erosão	Pedregosidade	pH	CEC	Declive	Exposição Solar	Altimetria
Tipos de Solos	1	1	1	3	3	1/3	1	3
Risco de Erosão	1	1	1	3	3	1/3	1	3
Pedregosidade	1	1	1	3	3	1/3	1	3
pH	1/3	1/3	1/3	1	1	1/5	1/3	1
CEC	1/3	1/3	1/3	1	1	1/5	1/3	1
Declive	3	3	3	5	5	1	3	5
Exposição Solar	1	1	1	3	3	1/3	1	3
Altimetria	1/3	1/3	1/3	1	1	1/5	1/3	1
Ponderação (%)	13.3%	13.3%	13.3%	4.8%	4.8%	32.7%	13.3%	4.8%
Razão de Consistência (RC) (%)	0.7%							

Anexo IV – Matriz e ponderação da AHP dos critérios de esforço e facilidade de conversão

Critério	Intensificação do uso do solo	Esforço de transformação da terra	Distância a explorações de gado sem terra
Intensificação do uso do solo	1	1	3
Esforço de transformação da terra	1	1	3
Distância a explorações de gado sem terra	1/3	1/3	1
Ponderação (%)	42.9%	42.9%	14.3%
Razão de Consistência (RC) (%)	0%		

Anexo V – Matriz e ponderação da AHP dos critérios de distância e acesso aos mercados

Critério	Distância à rede rodoviária local	Distância aos acessos de autoestradas e similares	Distância a Postos de venda de produtos bio
Distância à rede rodoviária local	1	3	1
Distância aos acessos de autoestradas e similares	1/3	1	1/3
Distância a postos de venda de produtos bio	1	3	1
Ponderação (%)	42.9%	14.3%	42.9%
Razão de Consistência (RC) (%)	0%		