

Roteiro de Neutralidade Carbónica no Setor do Azeite

Ficha Técnica

Título do documento:

Roteiro de Neutralidade Carbónica no Setor do Azeite

Projeto:

Green Olive

Tipologia de projeto:

Nº 91 da Medida TC-CII-i01.01 – Descarbonização da Indústria

Entidades beneficiárias:

- *Casa do Azeite – Associação do Azeite de Portugal*
- *AEMITEQ – Associação para a Inovação Tecnológica e Qualidade*

Financiamento:

Projeto financiado pelo Plano de Recuperação e Resiliência (PRR), no âmbito do Apoio à elaboração de roteiros de descarbonização da indústria e capacitação.

Coordenação do projeto:

Jéssica Rosa

Elaboração técnica:

Rute Candeias

Fabiana Candelária

Pedro Santos

Revisão técnica e científica:

Teresa Zacarias

João Lourenço

Alexandra Moreira

Fernando Apóstolo

Data:

Dezembro, 2025.

Nota:

O conteúdo deste documento reflete o trabalho desenvolvido no âmbito do projeto Green Olive e é da responsabilidade das entidades promotoras e da equipa técnica responsável pela sua elaboração.

Índice

Lista de Acrónimos e Abreviaturas	7
1. Enquadramento	1
1.2 Setor Oleícola e Crise Climática.....	13
2. Diagnóstico do Setor Oleícola em Portugal	15
2.1 Caracterização Geral do Setor.....	15
2.2 Cadeia de Valor do Setor Oleícola	23
2.3 Análise de Mercados: Consumo Interno vs. Exportação	25
2.4 Insumos e Práticas com Impacto Ambiental	29
2.4.1 Fertilizantes: de Práticas Orgânicas à Fertirrega de Precisão	29
2.4.2 Fitofármacos: de Baixa Intensidade Química à Proteção Integrada.....	32
2.4.3 Água de Rega: da Dependência do Clima à Gestão Hídrica Inteligente	34
2.4.4 Combustíveis e Eletricidade: Mecanização, Energia e Descarbonização	35
2.4.5 Gestão de Resíduos e Subprodutos: de Passivo Ambiental a Recurso Estratégico.....	37
2.4.6 Práticas Sustentáveis Transversais: da Tradição à Inovação Regenerativa	38
3. Cenário Base de Emissões.....	40
3.1 Objetivo, Âmbito e Fronteiras do Cenário Base	40
3.2 Metodologia e Fontes de Dados	42
3.3 Inventário Atual de Emissões – Perfil Médio do Setor.....	43
3.3.1 Emissões por Hectare de Olival.....	43
3.3.2 Emissões por Litro de Azeite.....	44
3.3.3 Repartição das Emissões ao Longo da Cadeia.....	44
3.4 Projeções de Emissões Futuras em Cenário “Business as Usual” (BAU)	47
3.5 Identificação dos Principais Hotspots de Carbono	49

3.6 Síntese para o Roteiro	51
4. Estratégias e Medidas de Descarbonização	52
4.1 Agricultura e Produção Primária	52
4.1.1 Rega e Fertirrega.....	52
4.1.2 Agricultura Regenerativa e Sequestro de Carbono.....	63
4.1.3 Redução do Uso de Fertilizantes Sintéticos e Fitofármacos	77
4.1.4 Agricultura de Precisão.....	87
4.1.5 Mecanização Eficiente no Olival.....	93
4.2 Transformação e Produção de Azeite.....	101
4.2.1 Eficiência Energética no Lagar.....	101
4.2.2 Energias Renováveis no Lagar.....	112
4.2.3 Valorização de Subprodutos e Resíduos	117
4.3 Transporte e Logística	122
4.3.1 Otimização de Rotas e Logística Reversa	122
4.3.2 Transição para Veículos de Baixas Emissões.....	124
4.3.3 Armazenamento Local Descentralizado.....	126
4.4 Embalagem e Distribuição	128
4.4.1 Mercado Interno: Valorização do Consumo Local e Circuitos Curtos	128
4.4.2 Mercado Externo: Descarbonização da Cadeia Internacional.....	132
4.5 Economia Circular.....	145
4.5.1 Articulação com o RNC2050 e o PNEC 2030.....	147
4.5.2 Fluxos Materiais no Setor Oleícola: Base para a Circularidade.....	149
4.5.3 Economia Circular e Descarbonização: Mecanismos de Redução de Emissões	149
5. Avaliação de Impacto e Custos	156
5.1 Potencial de Redução de Emissões por Medida.....	156
5.2 Benefícios Associados (Económicos, Sociais e Ambientais).....	172

5.2.1 Benefícios Económicos.....	172
5.2.2 Benefícios Sociais.....	176
6. Instrumentos de Apoio e Financiamento	179
7. Barreiras e Oportunidades.....	186
7.1 Barreiras Regulamentares, Financeiras, Culturais e Organizacionais	188
7.2 Oportunidades de inovação tecnológica, mercado e financiamento .	190
7.3 Integração com certificação e rotulagem sustentáveis.....	193
9. Conclusão.....	196
9.1 Chamado à ação – Insights.....	197
9.2 Chamado à ação – <i>Stakeholders</i>	198
Referências Bibliográficas.....	199

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Como funciona o Acordo de Paris	4
Tabela 2 – Pacto Ecológico Europeu: impacto no setor do azeite.....	8
Tabela 3 – RNC 2050: informações relevantes.....	9
Tabela 4 – Bioeconomia 2030: aplicações no setor oleícola	12
Tabela 5 – Superfície do olival em Portugal (2024).....	17
Tabela 6 – Nº de explorações de olival em Portugal (2003–2023).....	18
Tabela 7 – Produção de azeite em Portugal, por regiões (2020–2024)	18
Tabela 8 – Lagares de azeite em Portugal por localização geográfica (2024)	19
Tabela 9 – Oportunidades de mitigação carbónica na cadeia de valor do azeite.....	24
Tabela 10 – Características das emissões diretas de N ₂ O	30
Tabela 11 – Características das emissões indiretas de N ₂ O.....	31
Tabela 12 – Medidas e estimativas de redução de consumos energéticos no lagar	110
Tabela 13 – KPIs: Descarbonização na distribuição nacional.....	131
Tabela 14 – Impacto das estratégias definidas para a descarbonização	134

Tabela 15 – Comparativo dos parâmetros de transporte internacional em garrafas vs. Frexitank	135
Tabela 16 – Comparativo dos custos de transporte internacional em garrafas vs. Frexitank	136
Tabela 17 – Comparativo de Monitorização com IoT	140
Tabela 18 – Transição para um modelo de logística inteligente e descarbonizado	144
Tabela 19 – Biopolímeros e biomateriais produzidos a partir de subprodutos do olival.....	153
Tabela 20 – Medidas de circularidade por regime de cultivo	154
Tabela 21 – Potencial de redução de GEE por tipo de regime e cultivo do olival	159
Tabela 22 – Classificação indicativa dos lagares	162
Tabela 23 – Potencial de redução de GEE por tipo de lagar	162
Tabela 24 – Síntese de medidas prioritárias para olival e lagar até 2050.....	165
Tabela 25 – Classificação indicativa das empresas de engarrafamento e rotulagem.....	166
Tabela 26- Potencial de redução de GEE por dimensão de empresa de engarrafamento e rotulagem.....	167

Índice de Figuras

Figura 1 – Trajetórias de emissões vs. aumento da temperatura global.....	2
Figura 2 – Cenários climáticos e impactos previstos	3
Figura 3 – Principais metas climáticas de Portugal	6
Figura 4 – Objetivos da elaboração do RNC para o setor do azeite.....	14
Figura 5 – Olival tradicional, olival em vaso/copa e olival em sebe.....	15
Figura 6 – Medidas do Roteiro: Olival.....	20
Figura 7 – Medidas do Roteiro: Lagares	20
Figura 8 – Medidas do Roteiro: Subprodutos e circularidade	21
Figura 9 – Medidas do Roteiro: Medicação e credibilidade.....	22
Figura 10 – Cadeia de valor do azeite desde a produção até a distribuição..	24
Figura 11 – Maiores produtores mundiais de azeite (campanha 2024/2025) .	25

Figura 12 - Exportação de azeite (Valor e Volume) (2019–2024).....	26
Figura 13 - Mercados de exportação do azeite português (2019–2024).....	27
Figura 14 - Intensidade de GEE no cultivo do olival.....	46
Figura 15 - Análise SWOT da adoção de agricultura de precisão no olival.....	92
Figura 16 - Análise SWOT da mecanização eficiente no olival tendo em linha de conta a descarbonização dos processos	98
Figura 17 - Benefícios associados à descarbonização do setor olivícola nas dimensões económica, social e ambiental.....	172
Figura 18 - Exemplos de redução de custos operacionais associadas à eficiência energética	174
Figura 19 - Principais oportunidades e barreiras associadas à descarbonização do setor olivícola.....	187
Figura 20 - Exemplo de Certificações e Normas relevantes para a sustentabilidade do setor olivícola	194

Lista de Acrónimos e Abreviaturas

- ACV – Análise do Ciclo de Vida
- AP – Agricultura de Precisão
- APA – Agência Portuguesa do Ambiente
- BAU – *Business as Usual*
- COI – Conselho Oleícola Internacional
- CRCF – *Carbon Removals and Carbon Farming*
- DSS – *Decision Support System*
- ESG – *Environmental, Social, and Corporate Governance*
- ETS – *Emission Trade System*
- GEE – Gases com Efeito de Estufa
- GPP – Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral
- GWP – *Global Warming Potential*
- INE – Instituto Nacional de Estatística
- INERPA – Inventário Nacional de Emissões por Fontes e Remoção por Sumidouros de Poluentes Atmosféricos
- IPM – *Integrated Pest Management*
- LULUCF – Uso do Solo, Alteração do Uso do Solo e Florestas
- MRV – Monitorização, Comunicação e Verificação
- NDCs – *Nationally Determined Contributions*
- PANUSPF – Plano de Ação Nacional para o Uso Sustentável de Produtos Fitofarmacêuticos
- PNEC 2030 – Plano Nacional de Energia e do Clima
- RDI – *Regulated Deficit Irrigation*
- RNC – Roteiro de Neutralidade Carbónica
- SNIERPA – Sistema Nacional de Inventário de Emissões por Fontes e Remoção por Sumidouros de Poluentes Atmosféricos
- VFD – *Variable Frequency Drives*
- VSD – *Variable Speed Drives*
- WUE – *Water Use Efficiency*

1. Enquadramento

O Roteiro para a Neutralidade Carbónica do Setor do Azeite constitui uma ferramenta estratégica fundamental para o setor oleícola (ou oleícola), tendo em conta o atual contexto de crise climática global e da consequente urgência em acelerar a transição para uma economia climaticamente sustentável e carbonicamente neutra.

Políticas públicas, estratégias e regulamentos, sustentados por evidência científica, refletem um compromisso crescente com a mitigação das alterações climáticas, a nível internacional, europeu e nacional. Ao estabelecer orientações claras o roteiro promove a adoção de práticas mais eficientes, resilientes e alinhadas com os princípios da sustentabilidade ambiental, reforçando simultaneamente a competitividade e a viabilidade futura do setor do azeite.

1.1 Documentos Estratégicos



PARIS2015
UN CLIMATE CHANGE CONFERENCE
COP21·CMP11

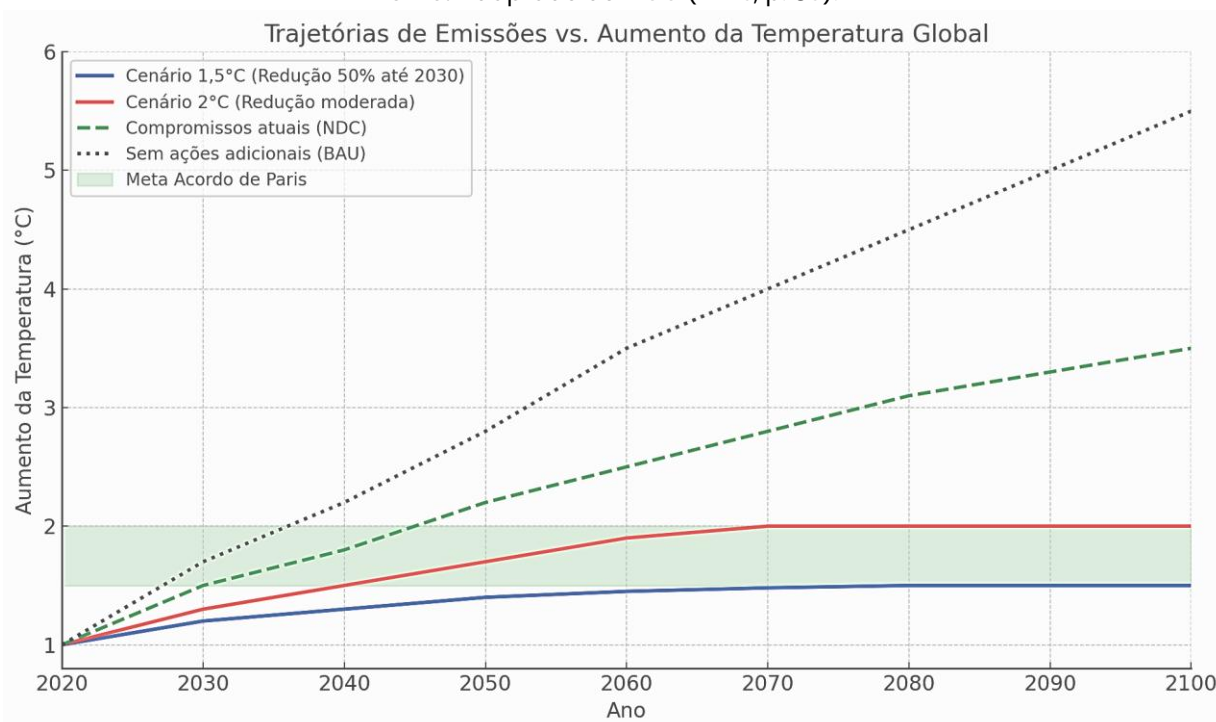
Acordo de Paris (2015)

A nível global, o Acordo de Paris (2015) constitui o principal referencial jurídico e político para a ação climática, ao estabelecer o compromisso de limitar o aumento da temperatura média global “bem abaixo dos 2 °C” e, idealmente, não excedendo 1,5 °C até ao final do século, face aos níveis pré-industriais.

O gráfico apresentado na Figura 1 apresenta a relação entre diferentes cenários de trajetórias de emissões e o aumento da temperatura global, a considerar também a meta definida no Acordo de Paris.

Figura 1 – Trajetórias de emissões vs. aumento da temperatura global

Fonte: Adaptado de IPCC (2023, p. 83).



Já o gráfico exposto na Figura 2 complementa o anterior ao associar cada um dos cenários climáticos aos respetivos impactos previstos, sendo relevante mencionar

que, mesmo a diferença entre um aumento de 1,5 °C para 2,0 °C já é significativa no âmbito da agricultura, natureza, saúde e economia.

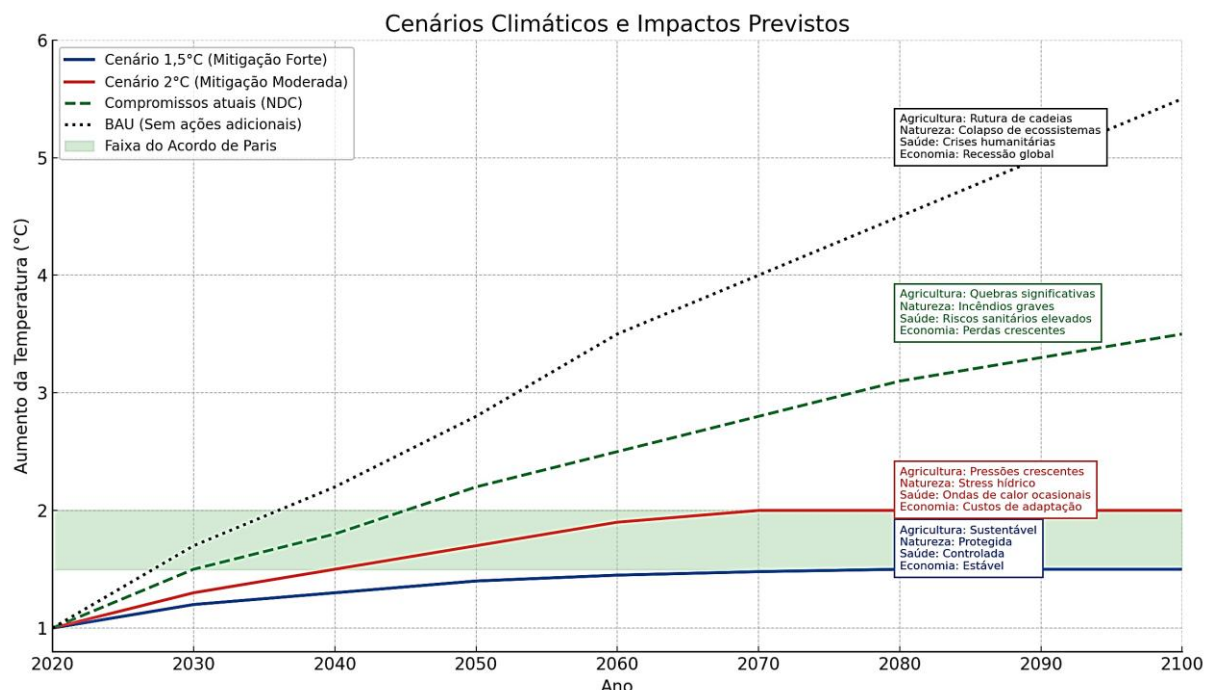


Figura 2 - Cenários climáticos e impactos previstos

Fonte: Elaboração própria, com dados do IPCC (2019, p. 76-83).

➤ **Principais objetivos e características do Acordo de Paris:**

- **Meta de Temperatura:** Manter o aumento da temperatura média global bem abaixo de 2°C e fazer um esforço para limitar esse aumento a 1,5°C;
- **Universalidade:** É o primeiro pacto climático universal, envolvendo mais de 190 países;
- **Ação Nacional (NDCs):** Cada país apresenta as suas "Contribuições Nacionalmente Determinadas" (NDCs), detalhando as metas e os planos para reduzir emissões e adaptar-se;
- **Ciclo de Revisão:** Os países devem rever e aumentar as suas metas a cada 5 anos;

- **Financiamento e Tecnologia:** Promove o apoio financeiro e tecnológico dos países desenvolvidos aos países em desenvolvimento para a transição climática;
- **Transparência:** Exige que os países registem e divulguem as suas ações e as suas emissões;
- **Combate aos Impactos:** Visa também fortalecer a capacidade de adaptação aos efeitos das alterações climáticas (secas, chuvas intensas, etc.).

➤ **Como funciona na prática:**

1	Compromisso: Países concordam em reduzir emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e adaptar-se.
2	NDCs (<i>Nationally Determined Contributions</i>): Elaboram e submetem os seus planos de ação climática (NDCs). Em Português “Contribuições Nacionalmente Determinadas”.
3	Relatórios: Reportam o progresso e as emissões.
4	Revisão: A cada 5 anos, as metas são revistas e reforçadas (processo conhecido como <i>ratchet mechanism</i>).
5	Apoio: Países ricos fornecem recursos aos mais pobres.

Tabela 1 – Como funciona o Acordo de Paris.

Fonte: Elaboração própria, com base em dados do Acordo de Paris (2015).

Este compromisso exige reduções líquidas de emissões até meados do século, encorajando todos as Partes a desenvolver estratégias de mitigação setoriais, abrangendo a agricultura, e a reforçar periodicamente a ambição através das **Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs)**.¹

O cumprimento das metas nacionais (NDCs) não é uma obrigação juridicamente vinculativa, mas os procedimentos de comunicação e revisão transparente são

¹ Portal Mais Transparência. *Ação Climática » Metas e resultados*. Disponível em: [Mais Transparência](#)

obrigatórios, criando um sistema de responsabilização mútua e cooperação global.

As NDCs atualizadas reiteram o compromisso da UE de alcançar uma redução de 55% das emissões líquidas de gases com efeito de estufa até 2030, e introduzem uma contribuição indicativa situada entre 66,25% e 72,5% para 2035, estabelecendo uma trajetória progressiva rumo à neutralidade carbónica até 2050.²

As NDCs de Portugal encontram-se alinhadas com as metas coletivas da União Europeia, no entanto o país tem demonstrado uma ambição nacional acrescida através das suas políticas nacionais, como o Plano Nacional de Energia e do Clima (PNEC 2030)³ e a Lei de Bases do Clima.⁴

➤ **Principais metas e contribuições a nível nacional:**

Após a COP30, Portugal mantém-se entre os países com melhor desempenho climático, ascendendo ao 12.º lugar no Índice de Desempenho das Alterações Climáticas 2026. O país apresenta resultados positivos na redução global das emissões e uma estratégia climática considerada relativamente ambiciosa, assente em metas de redução de pelo menos 55% das emissões até 2030 (face a 2005) e na antecipação da neutralidade carbónica antecipada para 2045.

No entanto, estas metas ainda não estão plenamente alinhadas com o limite de 1,5°C do Acordo de Paris. O setor dos transportes o principal desafio, devido ao aumento consistente das emissões.

² Conselho Europeu. *Acordo de Paris: na perspetiva da COP30, UE apresenta à ONU o seu CDN atualizado com uma meta indicativa para 2035*. Disponível em: [Conselho Europeu](#)

³ Diário da República. *Lei n.º 98/2021, de 31 de dezembro*. Disponível em: [Diário da República](#)

⁴ Agência Portuguesa do Ambiente (APA). *Lei de Bases do Clima*. Disponível em: [APA](#)

Redução de Emissões: Reduzir as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) em, pelo menos, 55% até 2030 (comparado aos níveis de 2005). Esta meta resulta da subscrição da NDC proposta pela União Europeia.

Neutralidade Carbónica: Alcançar a neutralidade carbónica até 2045, antecipando a meta anteriormente definida para 2050.

Energias Renováveis: Aumentar a quota de energia de fontes renováveis para 51% no consumo final bruto de energia até 2030. A meta para a produção de eletricidade a partir de fontes renováveis é de 85% até 2030.

Figura 3 - Principais metas climáticas de Portugal

Fonte: Elaboração própria, com base nas NDCs de Portugal.

As principais metas climáticas de Portugal, que formam a base das suas NDCs, são:

Lei Climática da UE - Novo acordo político provisório:

O novo acordo sobre uma meta climática para 2040 estabelece uma trajetória clara rumo a uma economia descarbonizada e competitiva.

A 9 de dezembro de 2025, os negociadores do Parlamento e do Conselho Europeu alcançaram um acordo político provisório sobre uma alteração à Lei Climática da UE, estabelecendo uma nova meta climática intermédia e vinculativa para 2040.⁵

O acordo inclui:

- Redução de 90% das emissões líquidas de gases com efeito de estufa (GEE) em comparação com os níveis de 1990;

⁵ Parlamento Europeu. *Parlamento confirma acordo para levar UE à neutralidade climática até 2050*. Disponível em: [News European Parliament](#)

- A partir de 2036, a possibilidade de reduzir até 5% das emissões de GEE com créditos internacionais de elevada qualidade;
- A possibilidade de utilizar remoções permanentes de carbono a nível nacional para compensar emissões difíceis de eliminar no âmbito do ETS;⁶
- Maior flexibilidade dentro e entre setores e instrumentos para alcançar metas da forma mais económica possível;
- O regime de comércio de licenças de emissão da UE (ETS2), que abrange as emissões de CO₂ provenientes da combustão de combustíveis em edifícios e nos transportes rodoviários, será adiado até 2028;
- A obrigação de a Comissão elaborar um relatório de progresso a cada dois anos, com a possibilidade de rever a meta para 2040.

O Pacto Ecológico Europeu ou *Green Deal*

No contexto europeu, o Pacto Ecológico Europeu (*European Green Deal*, 2019) estabelece o enquadramento estratégico para alcançar a neutralidade carbónica até 2050, prevendo reformas profundas nos sistemas energéticos, industriais, logísticos e agroalimentares. A meta intercalar é definida no *EU 2030 Climate Target Plan*, que fixa uma redução mínima de 55% das emissões até 2030 (face a 1990), reforçando os instrumentos regulatórios tais como o *EU Emissions Trading System* (EU-ETS), atualmente na Fase IV (2021–2030).



Embora a agricultura não esteja diretamente integrada no regime de comércio de licenças, os setores agroindustriais, os transportes e a eletricidade – todos relevantes para a cadeia de valor do azeite – são diretamente impactados por

⁶ Comissão Europeia. *Carbon Removals and Carbon Farming*. Disponível em: [European Commission](#)

estas obrigações, influenciando os custos operacionais, o acesso à energia renovável e os critérios de sustentabilidade para os produtos colocados no mercado europeu.

Na tabela 2 é apresentada uma síntese das medidas do Pacto Ecológico Europeu, no âmbito de instrumentos e legislação, que geram obrigações às empresas e um impacto direto no setor do azeite.

Legislação/Instrumento	Obrigação para Empresas	Impacto no Setor do Azeite
Regulamento da Taxonomia Europeia	Cumprimento de critérios de sustentabilidade para acesso a financiamento verde e reporte obrigatório em certas condições	Relevante para investimentos em eficiência energética, gestão ambiental e financiamento de projetos sustentáveis
Estratégia “Do Prado ao Prato”	Redução do uso de pesticidas e fertilizantes, práticas agrícolas mais sustentáveis, possível rotulagem ambiental	Impõe limites na utilização de fitofármacos, incentiva práticas regenerativas e pode exigir adaptação na rotulagem
Pacto Climático Europeu e “Fit for 55”	Cumprimento de novas metas de redução de emissões, possível sujeição ao mercado de licenças (ETS)	Pressão para redução de pegada carbónica das explorações e lagares; incentivo à eficiência energética
Diretiva CSRD – Reporte de Sustentabilidade	Grandes empresas e cadeias de valor obrigadas a reportar práticas ambientais, sociais e de governação (ESG)	Exigência de demonstração de boas práticas ambientais pelos fornecedores, incluindo produtores e transformadores de azeite
Política Agrícola Comum (PAC) 2023-2027	Cumprimento obrigatório de práticas ambientais (eco-condicionalidade) para acesso a subsídios	Aplicação prática nas explorações: cobertura vegetal, proteção do solo, uso racional de água, práticas agrícolas sustentáveis

Tabela 2 - Pacto Ecológico Europeu: impacto no setor do azeite

Fonte: elaboração própria, com dados do Pacto Ecológico Europeu.

A nível nacional, três documentos assumem particular relevância para orientar a descarbonização do setor oleícola.



Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050)

Documento estratégico aprovado pelo Governo de Portugal em 2019⁷, estabelece o compromisso português de alcançar emissões líquidas nulas até 2050, destacando o papel da agricultura enquanto setor emissor, mas também enquanto reservatório de carbono. O RNC2050 identifica um conjunto de medidas estruturais como a gestão sustentável do solo, a redução do uso de fertilizantes de base fóssil, a transição energética e a valorização de subprodutos agrícolas – todas altamente relevantes para o setor oleícola.

Definição	Documento estratégico nacional que define o caminho para a neutralidade carbónica até 2050
Natureza jurídica	Não é lei vinculativa, mas orienta políticas públicas e programas nacionais
Objetivos principais	Reduzir emissões de GEE, aumentar o sequestro de carbono, promover a eficiência energética
Aplicação no setor do azeite	Incentiva práticas agrícolas de baixo carbono, gestão sustentável de solos, eficiência energética em lagares
Obrigações	Sem imposições diretas, mas influencia regulamentos, acesso a fundos e eco-condicionalidade da PAC

Tabela 3 – RNC 2050: informações relevantes

Fonte: elaboração própria, com dados do RNC 2050.

De acordo com o RNC2050, em Portugal, em 2015, o setor agrícola foi responsável por cerca de 10% das emissões de GEE, registando-se uma redução de aproximadamente 5% face a 1990. Esta diminuição resultou, em grande medida, do

⁷ Diário da República. *Resolução do Conselho de Ministros n.º 107/2019, de 1 de julho.*
Disponível em: [Diário da República](#)

menor peso relativo da agricultura na economia nacional, bem como da adoção de opções técnicas mais eficientes, nomeadamente da redução de algumas categorias do efetivo pecuário, a extensificação da produção pecuária e da diminuição do uso de fertilizantes. As principais fontes de emissões agrícolas continuam a ser a fermentação entérica, os solos agrícolas e a gestão de estrumes.

No período compreendido entre 1990 e 2005, o setor LULUCF (Uso do Solo, Alteração do Uso do Solo e Florestas) apresentou-se, de forma geral, como um sumidouro líquido de carbono, com exceção de alguns anos pontuais. Ao longo deste período, observou-se uma tendência de aumento do sequestro líquido, impulsionada sobretudo pelas remoções associadas às áreas florestais e a outras superfícies, bem como pela redução das emissões provenientes das culturas agrícolas e das pastagens.

A transição da agricultura portuguesa – tradicionalmente dependente de apoios públicos e assente num modelo de intensificação químico-mecânica – para um modelo economicamente viável, ambientalmente sustentável e compatível com a neutralidade carbónica requer uma abordagem sustentada, assente na implementação de políticas agrícolas adequadas e na adoção de tecnologias inovadoras e práticas agronómicas mais eficientes.

Plano Nacional de Energia e Clima 2030 (PNEC 2030)

Surge no âmbito das obrigações estabelecidas pelo Regulamento da Governação da União da Energia e da Ação Climática e define metas obrigatórias para a eficiência energética, a incorporação de energias renováveis e a redução das emissões no setor não-ETS, no qual se inclui a agricultura. O PNEC reforça ainda a

necessidade e a importância de inovação tecnológica, da digitalização e das práticas agrícolas de baixo carbono, constituindo o enquadramento operativo para programas de financiamento e medidas de apoio.

Estratégia Nacional para a Bioeconomia Sustentável 2030

O documento estratégico⁸ elaborado pelo Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral (GPP), estabelece um quadro estratégico para a valorização



sustentável dos recursos biológicos em Portugal, com especial incidência na agricultura enquanto setor estruturante da bioeconomia nacional. Embora não seja um documento específico para a olivicultura, o seu conteúdo é diretamente aplicável à cadeia de valor do azeite, dada a relevância desta cultura permanente na produção de biomassa agrícola e na geração de subprodutos orgânicos.

No contexto do setor oleícola⁹, o principal contributo do relatório reside na mudança de paradigma produtivo, promovendo a passagem de um modelo linear (produção-resíduo) para um modelo circular, eficiente no uso de recursos e orientado para a valorização económica dos fluxos residuais. Este enquadramento reforça práticas já emergentes na olivicultura portuguesa e legitima o seu apoio através de políticas públicas, instrumentos financeiros e agendas de investigação e inovação.

O alinhamento entre estes instrumentos estratégicos demonstra que o setor oleícola, apesar da sua relevância económica e importância para a paisagem mediterrânica, enfrenta crescentes exigências regulamentares, de mercado e de sustentabilidade. Assim, a elaboração deste roteiro específico para o setor surge

⁸ GPP. *Estratégia Nacional para a Bioeconomia Sustentável 2030*. Disponível em: [GPP](#)

⁹ GPP. *Caderno Sectorial Agricultura e Pecuária*. Disponível em: [GPP](#)

como ferramenta essencial para orientar produtores, cooperativas e operadores na trajetória rumo à neutralidade carbónica.

Domínio	Orientação estratégica (Bioeconomia 2030)	Aplicação concreta no setor oleícola
Biomassa e resíduos	Valorização de fluxos biológicos residuais	Uso do bagaço e efluentes para bioenergia, fertilização orgânica e compostos bioativos
Recursos naturais	Eficiência no uso de água e solo	Rega eficiente, cobertos vegetais, conservação do solo
Circularidade	Transição de modelos lineares para circulares	Integração da produção, transformação e valorização de subprodutos
Energia e clima	Redução de emissões e dependência fóssil	Energias renováveis em explorações e lagares
Inovação	Promoção de I&D e digitalização	Agricultura de precisão, otimização tecnológica dos lagares
Desenvolvimento rural	Valorização económica dos territórios	Criação de novas atividades e cadeias de valor associadas à oliveira

Tabela 4 - Bioeconomia 2030: aplicações no setor oleícola

Fonte: elaboração própria, com dados da Estratégia Bioeconomia 2030.

1.2 Setor Oleícola e Crise Climática

O setor oleícola português encontra-se particularmente exposto aos impactos da crise climática, dada a sua forte dependência das condições meteorológicas e da disponibilidade hídrica. O olival, tradicionalmente adaptado ao clima mediterrânico, enfrenta atualmente cenários caracterizados pelo aumento da temperatura média, pela redução da precipitação anual e pela maior frequência de eventos climáticos extremos (ondas de calor, secas severas). Estes fatores comprometem não apenas a produtividade, mas também a qualidade do azeite, a estabilidade dos ecossistemas agrícolas e a resiliência económica das explorações.

Paralelamente, o setor contribui para as emissões de GEE, sobretudo através do uso de fertilizantes azotados, do consumo de combustíveis fósseis nas operações agrícolas, do uso da energia nos lagares e das emissões associadas ao transporte e à gestão de subprodutos. Estudos recentes apontam que, embora o olival possa atuar como sumidouro de carbono devido à incorporação de matéria orgânica no solo e ao sequestro feito pelas árvores, este potencial é muitas vezes neutralizado ou superado pelas emissões geradas ao longo da cadeia de valor, sobretudo quando não são aplicadas práticas regenerativas ou de eficiência energética.

Simultaneamente, assiste-se a um crescimento consistente da procura global, por azeite produzido de forma sustentável e de baixo impacto ambiental, impulsionada por consumidores, retalhistas e reguladores. A adoção de métricas de pegada carbónica, de rotulagem ambiental e de critérios ESG tem se generalizado nos mercados internacionais, onde Portugal se posiciona como relevante exportador. Assim, a transição climática não deve ser vista apenas como uma obrigação regulatória, mas como uma oportunidade estratégica para

aumentar a competitividade, reduzir custos, valorizar subprodutos e reforçar a reputação internacional do azeite português.

Neste contexto, a elaboração de um Roteiro de Neutralidade Carbónica para o setor oleícola é essencial para:

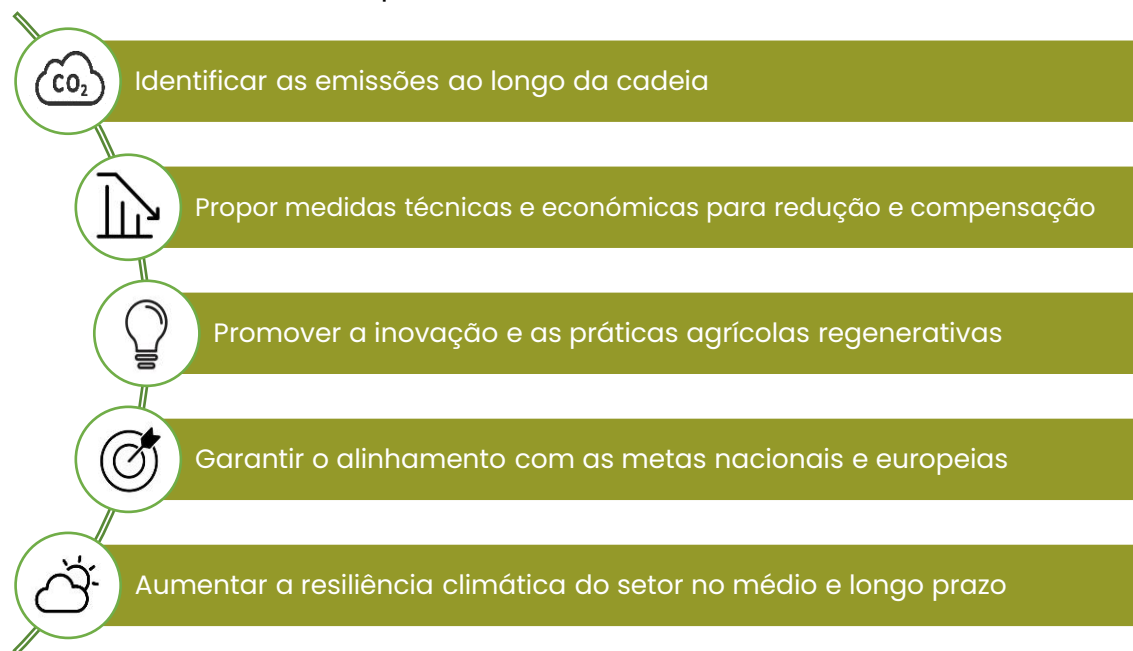


Figura 4 - Objetivos da elaboração do RNC para o setor do azeite

Fonte: Elaboração própria.

2. Diagnóstico do Setor Oleícola em Portugal

2.1 Caracterização Geral do Setor

O setor oleícola em Portugal tem vindo a atravessar uma profunda reconfiguração estrutural ao longo das últimas duas décadas, impulsionada pela expansão da área cultivada, pela incorporação de inovação tecnológica e pelo reforço da capacidade instalada de transformação e exportação.

De acordo com a informação estatística disponibilizada pelo INE e pelo GPP, a área de olival ultrapassa atualmente os 380 mil hectares, concentrando-se maioritariamente na região do Alentejo, que é responsável por mais de 80% da produção nacional.

O crescimento registado nos últimos anos está sobretudo associado à implementação de sistemas de produção em vaso/copa e em sebe, caracterizados por elevados níveis de produtividade por hectare, forte mecanização e maior previsibilidade produtiva, fatores que contribuem para a redução dos custos unitários de produção.

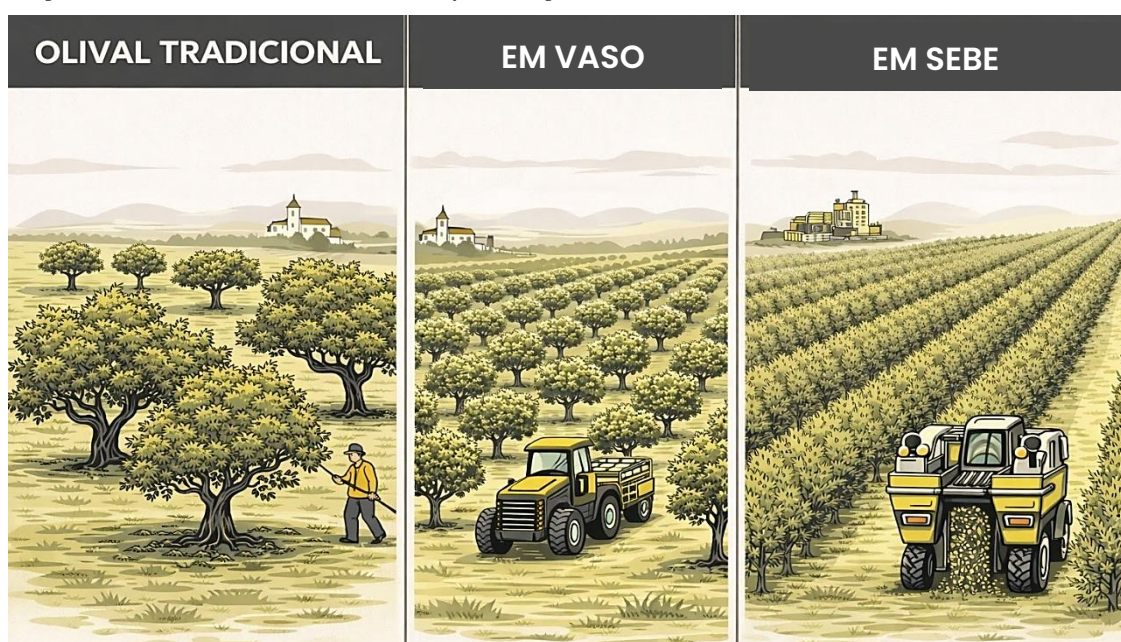


Figura 5 - Olival tradicional, olival em vaso/copa e olival em sebe

Fonte: Elaboração própria.

A coexistência de três modelos de exploração – tradicional, em vaso/copa e em sebe – confere ao setor uma elevada diversidade estrutural e funcional. O olival tradicional, dominante em áreas de minifúndio e zonas de maior declive, apresenta baixas densidades de plantação e rendimentos mais reduzidos, mas assume um papel determinante na preservação da paisagem rural, dos sistemas agroecológicos e da biodiversidade.

Por sua vez, o olival em vaso/copa distingue-se por densidades intermédias, maior racionalização do uso da água e adoção de mecanização parcial, permitindo ganhos de eficiência face aos sistemas tradicionais. Já o olival em sebe, com densidades frequentemente superiores a 1.200 árvores por hectare e colheita totalmente mecanizada, constitui atualmente o principal vetor de crescimento da produção nacional, beneficiando de sistemas de rega localizada, de elevada eficiência e dos investimentos realizados nos perímetros de rega do Empreendimento de Fins Múltiplos do Alqueva.

Relativamente aos sistemas de rega, verifica-se uma predominância clara da rega gota-a-gota, elemento central para a estabilidade das produções e para a obtenção de azeites de qualidade consistente, especialmente nos sistemas em vaso/copa e em sebe. Em contraste, o regime de sequeiro, mais frequente nos olivais tradicionais, revela-se particularmente vulnerável à variabilidade climática, marcada pela irregularidade da precipitação e pelo aumento da frequência e duração dos períodos de seca. Paralelamente, regista-se um crescimento gradual da área de olival em modo de produção biológico, ainda que esta represente uma pequena percentagem da área total ocupada por esta cultura. Processos de certificação complexos, exigências no controlo fitossanitário e custos associados à transição produtiva, condicionam o seu crescimento.

O aumento sustentado da produção nacional de azeite posicionou Portugal entre os principais produtores mundiais, ocupando atualmente lugares próximos ou superiores à 6ª posição a nível global, com volumes que, em campanhas agrícolas particularmente favoráveis, podem superar as 200 mil toneladas. O reconhecimento internacional da qualidade do azeite português resulta da conjugação entre um património varietal diversificado – destacando-se cultivares como Cobrançosa, Galega Vulgar e Verdeal Alentejana e cultivares estrangeiras como a Arbequina e a Picual – e a adoção de tecnologias modernas de extração, que permitem preservar as características do produto final.

Em 2024, o olival ocupava cerca de 380 780 ha em Portugal, sendo 98,3% dessa área dedicada à produção de azeitona para azeite (\approx 374 226 ha) e apenas 1,7% dedicada à produção de azeitona de mesa (\approx 6 554 ha). A área de olival é fortemente concentrada com o Alentejo a reunir \approx 206 620 ha (54,3%) da área nacional, seguindo-se Trás-os-Montes com \approx 78 928 ha (20,7%), a Beira Interior com \approx 47 224 ha (12,4%) e o Ribatejo com \approx 22 544 ha (5,9%) .

Superfície do olival em Portugal (2024)

Região agrária	Azeitona para azeite (ha)	Azeitona de mesa (ha)	Total (ha)	% Total
Entre Douro e Minho	952	2	954	0,3%
Trás-os-Montes	77 214	1 714	78 928	20,7%
Beira Litoral	15 045	31	15 076	4,0%
Beira Interior	45 875	1 349	47 224	12,4%
Ribatejo e Oeste	22 514	30	22 544	5,9%
Alentejo	203 428	3 192	206 620	54,3%
Algarve	9 198	236	9 434	2,5%
TOTAL	374 226	6 554	380 780	100%

Tabela 5 - Superfície do olival em Portugal (2024)

Fonte: INE, 2025.

Em termos de estrutura agrícola, o número de explorações com olival é elevado, mas evidencia um ajuste recente. Em 2023 registavam-se 121 892 explorações, uma redução de ~6,1% face a 2019, ano em que se contabilizavam 129 803 explorações.

Nº de explorações de olival em Portugal (2003–2023)

Ano	nº
2003	141 479
2005	131 060
2007	113 307
2009	130 568
2013	121 429
2016	118 461
2019	129 803
2023	121 892

Tabela 6 - Nº de explorações de olival em Portugal (2003–2023)

Fonte: INE, 2025.

Relativamente à produção, o ano de 2023 registou ~160,8 mil t de azeite (\approx 1 755 290 hl), com o Alentejo a representar ~83,5% do total, refletindo a predominância de sistemas de produção mais mecanizados e produtivos; em 2024, a produção nacional aumenta para ~179,5 mil t (\approx 1 959 949 hl).

Produção de azeite em Portugal, por regiões (2020–2024)

	2024	2023	2022	2021	2020
Região agrícola	Azeite (Kg)				
Entre Douro e Minho	120 271	197 673	95 630	486 762	120 820
Trás-os-Montes	18 301 039	13 239 314	7 265 437	18 437 523	16 295 365
Beira Litoral	3 301 814	2 791 052	1 993 308	4 725 369	1 666 845
Beira Interior	3 324 622	3 606 200	1 527 705	6 358 322	3 271 952
Ribatejo e Oeste	6 258 204	6 018 395	3 369 506	9 911 395	2 579 822
Alentejo	148 056 103	134 327 553	111 873 004	168 706 315	74 000 526
Algarve	169 277	604 377	57 067	1 097 093	133 461
TOTAL	179 531 328	160 784 564	126 181 656	209 722 780	98 068 792

Tabela 7 - Produção de azeite em Portugal, por regiões (2020–2024)

Fonte: INE, 2025.

A transformação da azeitona assenta numa rede de lagares. Em 2023 existiam 462 lagares, dos quais $\approx 66,7\%$ industriais, $22,7\%$ cooperativos, $10,6\%$ particulares. Em 2024 o número reduziu-se ligeiramente para 456, sendo $\approx 68,4\%$ industriais, $21,5\%$ cooperativos, $10,1\%$ particulares. Esta evolução evidencia um parque de transformação com um peso industrial crescente e com um potencial para ganhos rápidos em eficiência energética e para a valorização de subprodutos.

Região agrária	Lagares de azeite (n.º)			
	Total	Particular	Cooperativo	Industrial
Entre Douro e Minho	12	2	3	7
Trás-os-Montes	107	7	17	83
Beira Litoral	69	2	5	62
Beira Interior	100	7	44	49
Ribatejo e Oeste	61	6	6	49
Alentejo	99	19	22	58
Algarve	8	3	1	4
TOTAL	456	46	98	312

Tabela 8 - Lagares de azeite em Portugal por localização geográfica (2024)

Fonte: INE, 2025.

Relação entre os dados apurados e as medidas concretas do RNC:

1) Olival (campo) – onde está a maior área e potencial de sequestro

Importante: 380 mil ha dão escala; a redução de explorações e maior concentração favorecem adoção rápida de práticas, mas exige soluções também para olival tradicional (Norte/Centro).



Cobertos vegetais e gestão do solo

(redução de mobilização, aumento de matéria orgânica)

→ Foco especial nas regiões com muito olival tradicional (Trás-os-Montes, Beiras).



Eficiência de fertilização (N)

(planeamento, precisão, substituição parcial por orgânicos, quando adequado)

→ Reduzir N₂O e custos



Água e energia no regadio

(eficiência hídrica, bombagem eficiente, digitalização)

→ Crítico no Alentejo, onde se concentra a produção.

Figura 6 - Medidas do Roteiro: Olival

Fonte: Elaboração própria.

2) Transformação (lagares) – ganhos rápidos e mensuráveis

Importante: há ~460 lagares, com predomínio industrial (~2/3), o que facilita padronizar a monitorização energética e implementar medidas com impacto.

Figura 7 - Medidas do Roteiro: Lagares

Fonte: Elaboração própria.



Auditorias energéticas e metas de eficiência por hl/tonelada processada

(com KPIs setoriais)



Eletrificação e renováveis

(autoconsumo, otimização térmica)



Gestão de águas e efluentes

com redução de carga e valorização (onde aplicável), melhorando desempenho ambiental e licenciamento.

3) Subprodutos e circularidade – alavanca para “carbon farming” e remoções

Importante: elevada produção concentrada (Alentejo) facilita cadeias logísticas de valorização.



Valorização de bagaço/poda

(energia, compostagem) e, onde viável, biochar a partir de resíduos lenhosos

→ reduzir emissões e aumentar carbono no solo.



Planos regionais de recolha e valorização

(clusters) para reduzir queima/gestões emissoras e criar receita adicional.

Figura 8 - Medidas do Roteiro: Subprodutos e circularidade

Fonte: Elaboração própria.

4) Medição e credibilidade (base para CRCF/mercado/financiamento)

Importante: o roteiro precisa de indicadores verificáveis; a escala do setor permite criar um sistema comum.



MRV setorial (monitorização, reporte e verificação)
com “pacotes” por tipologia (tradicional vs em vaso/em sebe; sequeiro vs regadio).



Pilotos alinhados com CRCF
projetos-âncora em zonas representativas (ex.: Alentejo + Trás-os-Montes) para demonstrar sequestro no solo/biomassa e redução de emissões.

Figura 9 – Medidas do Roteiro: Medição e credibilidade

Fonte: Elaboração própria.

2.2 Cadeia de Valor do Setor Oleícola

A cadeia de valor do azeite envolve diferentes fases, cada uma associada a pressões ambientais específicas e oportunidades de mitigação:

Olival e cultivo
Inclui operações de poda, mobilização mínima do solo, fertilização, controlo de infestantes e gestão da rega. Esta fase concentra uma parte significativa dos consumos energéticos (combustíveis) e materiais (fertilizantes e fitofármacos), com impactos diretos nas emissões e na qualidade do solo e da água.
Colheita
Nos sistemas tradicionais, mantém-se parcialmente manual, enquanto nos sistemas modernos é mecanizada. A colheita mecanizada permite reduzir custos e tempo, mas aumenta o consumo de gasóleo e é sendo sensível às práticas de conservação da fauna, nomeadamente restrições durante o período de nidificação das aves.
Transporte da azeitona ao lagar
Gera emissões associadas ao consumo de gasóleo agrícola utilizado durante o transporte da azeitona da exploração até à unidade de transformação, variando conforme distâncias médias das parcelas e organização logística.
Transformação em lagar
Inclui as etapas de lavagem, moenda, batimento, decantação/centrifugação e armazenamento inicial. É uma fase de elevada intensidade elétrica e térmica, assumindo relevância na pegada carbónica. A modernização dos lagares tem contribuído para a redução de perdas e para o aumento da eficiência energética, embora persistam oportunidades de descarbonização, especialmente ao nível da climatização e aquecimento de água.
Embalamento e armazenamento
Envolve a utilização de materiais como o vidro, o plástico ou o metal, bem como de energia elétrica para funcionamento, climatização e conservação. A tendência de adoção de embalagens mais leves e recicláveis constitui vetor prioritário de redução de emissões.

Distribuição e exportação

Dependem essencialmente de transporte rodoviário no mercado interno (nacional e europeu) e do transporte marítimo para mercados internacionais. A consolidação logística, a otimização de cargas e uso de combustíveis alternativos poderão reduzir as emissões nesta fase.

Tabela 9 - Oportunidades de mitigação carbónica na cadeia de valor do azeite

Fonte: Elaboração própria.

O conjunto destas etapas evidencia a necessidade de uma abordagem integrada de descarbonização, orientada para toda a cadeia e não apenas para a fase agrícola.

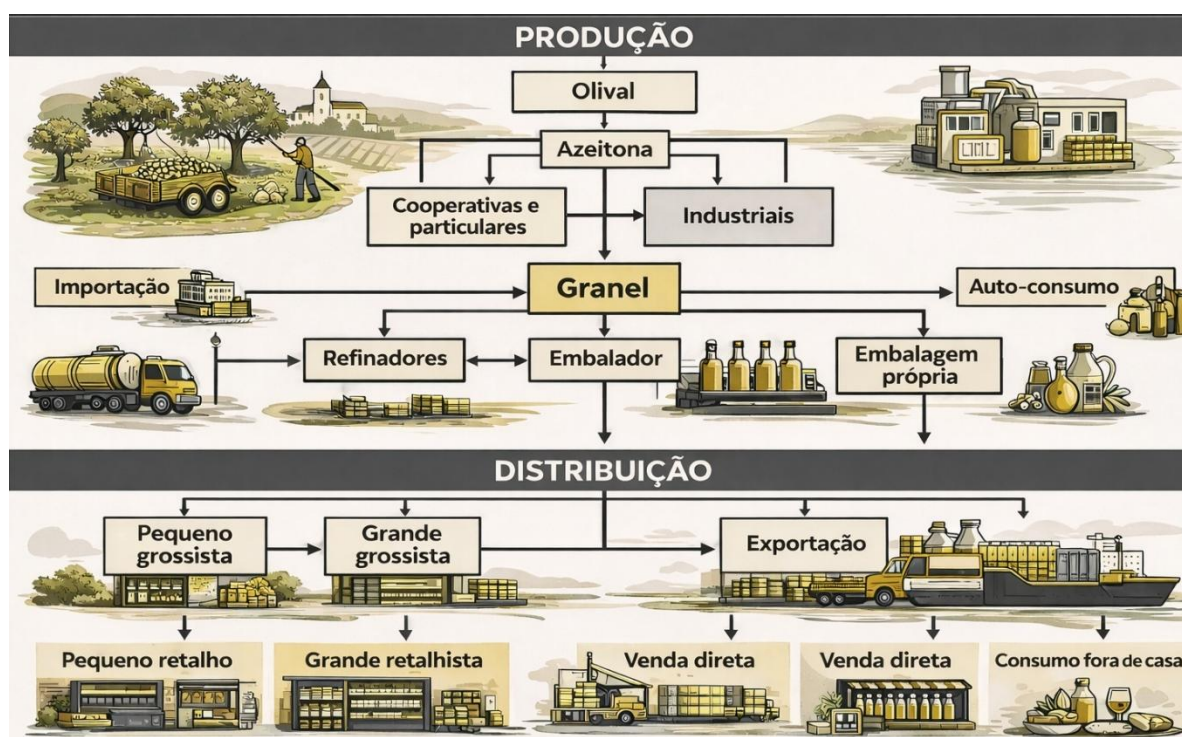


Figura 10 - Cadeia de valor do azeite desde a produção até a distribuição

Fonte: Adaptado de Borges (2018, p. 31).

2.3 Análise de Mercados: Consumo Interno vs. Exportação

O mercado português de azeite apresenta dinâmicas profundamente influenciadas pela expansão da produção nacional verificada na última década. De acordo com o INE (Estatísticas Agrícolas 2025), a produção de azeite atingiu valores próximos de 179 mil toneladas em 2024/2026, representando um segundo ano de recuperação após a quebra acentuada registada na campanha 2023/2023. As previsões para 2025/2026 indicam que irá ficar pelas 140 mil toneladas de azeite, cerca de menos 20% que a registada no ano anterior¹⁰.

Apesar da variabilidade inerente ao olival, Portugal consolidou-se como 6.º ou 7.º maior produtor mundial, segundo dados do Conselho Oleícola Internacional (COI, 2025).

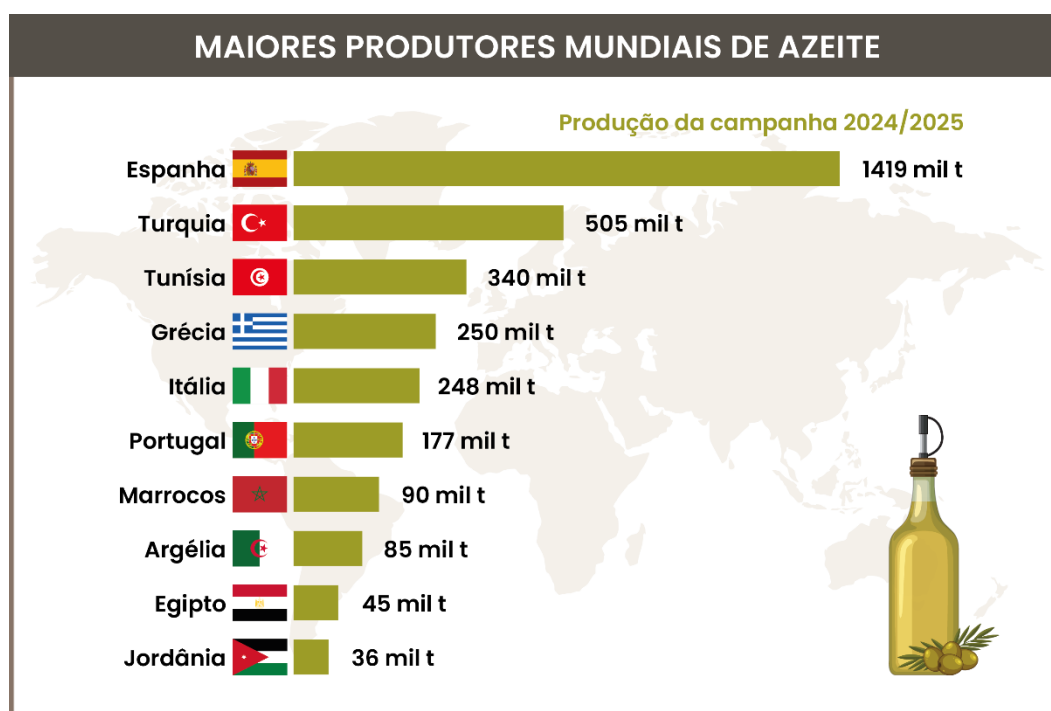


Figura 11 - Maiores produtores mundiais de azeite (campanha 2024/2025)

Fonte: Conselho Oleícola Internacional (2025).

➤ Consumo interno

¹⁰ Público. *Campanha 2025/2026 traz menos azeite, mas melhor*. Disponível em: [Campanha 2025/2026 traz menos azeite, mas melhor](#)

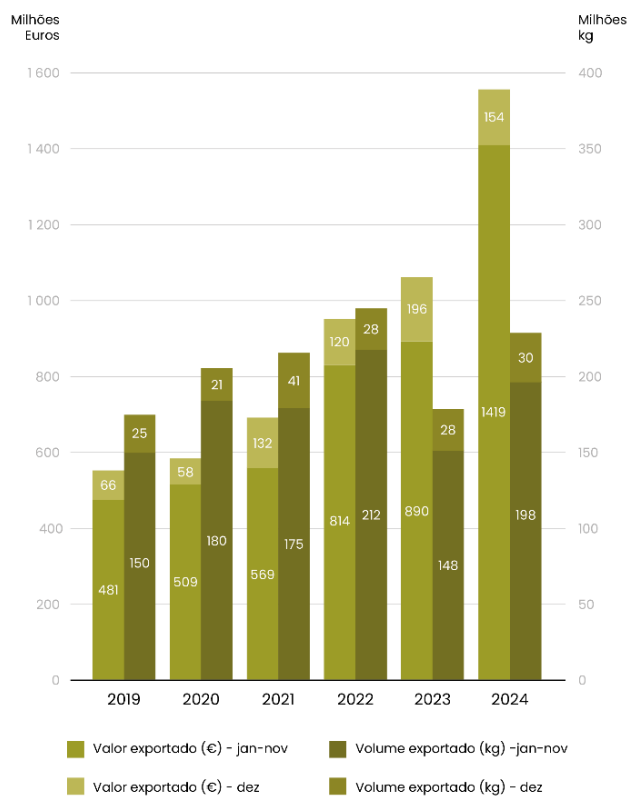
O consumo interno situa-se entre 60 e 70 mil toneladas/ano, o que corresponde a cerca de 6–7 litros per capita, um dos níveis mais elevados da União Europeia. Apesar de estável, o consumo doméstico está longe de absorver a produção nacional crescente. A cadeia de distribuição tem vindo a diversificar a oferta, com aumento da presença de azeites biológicos, DOP e de baixa acidez.

➤ **Exportação: volumes, destinos e evolução**

A necessidade de escoamento externo é evidente: entre 60% e 70% da produção anual tem sido destinada a exportação, quer em azeite embalado quer a granel. Entre 2015 e 2024, as exportações mais do que duplicaram em volume e valor, fruto da consolidação dos olivais de sequeiro modernizado e dos olivais em vaso e em sebe. Em 2025, após um aumento de 10% na produção, o comércio internacional tem vindo a passar por um crescimento assinalável.

Figura 12 - Exportação de azeite (Valor e Volume) (2019–2024)

Fonte: Adaptado de Espaço Visual, com dados do INE.



Espanha é o principal destino em termos de volume, exclusivamente de azeite a granel, refletindo a integração ibérica da indústria. Itália é um forte importador de azeite português de elevada qualidade para loteamento e reexportação. Já o Brasil é o principal mercado de azeite embalado extra-UE, com consumo crescente e valorização de azeites premium. Estados Unidos, França, Japão e China são mercados em expansão para azeites embalados de gama média-alta.

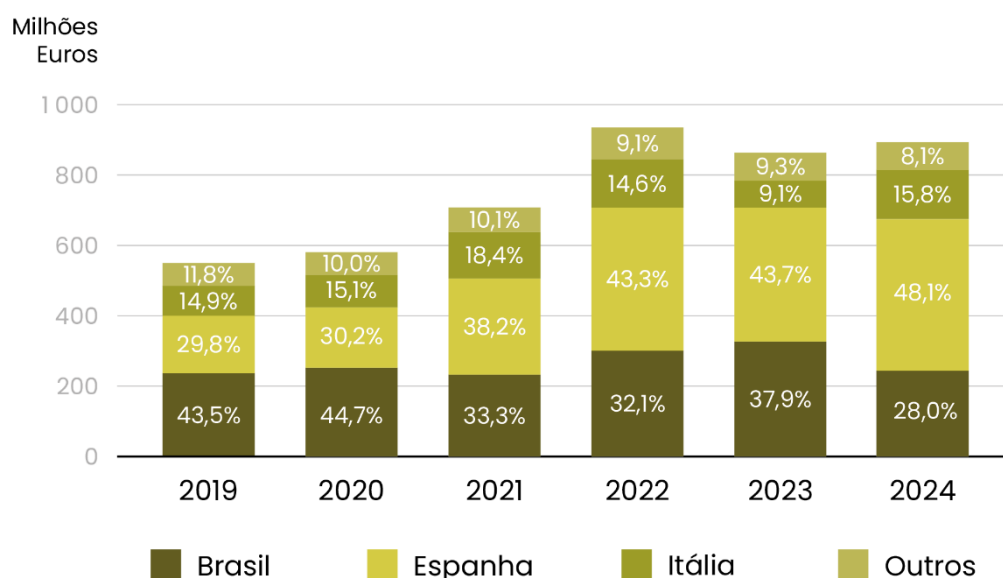


Figura 13 - Mercados de exportação do azeite português (2019-2024)

Fonte: Adaptado de Espaço Visual, com dados do INE.

➤ **Tendências de mercado relevantes para a descarbonização**

- **Crescimento do segmento premium** – valorização crescente de azeites monovarietais, de produção integrada, biológicos e de *terroir*, segmentos que tendem a reconhecer e premiar práticas de sustentabilidade.

Para além dos azeites biológicos que estão diretamente ligados a modos de produção que privilegiam a sustentabilidade, os azeites monovarietais, de produção integrada e de *terroir* também apresentam uma ligação a boas práticas, uma vez que assentam frequentemente em variedades adaptadas ao território,

sistemas produtivos orientados para a qualidade e elevada rastreabilidade, favorecendo a redução do uso de insumos, a preservação da paisagem e a adoção de práticas agrícolas regenerativas.

- **Aumento da exigência de certificações ambientais** – retalhistas europeus exigem indicadores ESG, rastreabilidade digital e métricas de pegada carbónica; por exemplo, cadeias de retalho nórdicas e alemãs já exigem *Environmental Product Declarations* (EPDs).¹¹

- **Crescente procura por azeite com baixo impacto hídrico e energético** – mercados como a Suécia e os Países Baixos já privilegiam azeites provenientes de sistemas de agricultura regenerativa.

Casos concretos:

Amareleja (Moura) – cooperativas locais reportam aumento superior a 30% nas vendas de azeite DOP exportado para mercados de nicho, demonstrando o valor acrescentado da certificação.

Produtores do Alqueva – vários lagares implementaram sistemas de monitorização de energia e redução de consumo hídrico, resultando em redução de custos e valorização do produto no mercado premium.

¹¹ EPD. *Credible environmental impact data for a sustainable future*. Disponível em: [Environdec](https://www.environdec.com/)

2.4 Insumos e Práticas com Impacto Ambiental

A evolução do setor oleícola em Portugal – do olival tradicional, de base familiar e assente em práticas muitas vezes ancestrais, para sistemas de olival em vaso ou em sebe altamente tecnificados – traduziu-se em ganhos claros em termos de produtividade, estabilidade da oferta e capacidade exportadora. Contudo, essa transição foi acompanhada de novos perfis de impacto ambiental, associados sobretudo ao uso de insumos (fertilizantes, produtos fitofarmacêuticos, água, energia) e de desafios relacionados com a gestão de resíduos e subprodutos.

Compreender o papel de cada insumo/prática é por isso essencial para desenhar um Roteiro de Descarbonização que não demonize a modernização do setor, mas que a oriente no sentido de uma intensificação eficiente e sustentável.

2.4.1 Fertilizantes: de Práticas Orgânicas à Fertirrega de Precisão

No olival tradicional, a fertilização baseava-se historicamente em: estrumes de origem animal, incorporação de restos de poda, rotações do coberto vegetal com culturas arvenses ou pastoreio.

Estas práticas, embora menos produtivas, apresentavam uma pegada de carbono mais baixa, contribuía para a manutenção da matéria orgânica do solo e favoreciam a biodiversidade. O aumento da **competitividade** e da pressão para elevar a produtividade conduziram, sobretudo a partir dos anos 1990–2000, à propagação do uso de fertilizantes minerais, em particular azotados (N), aplicados de forma generalizada no solo ou via fertirrega.

A importância climática dos fertilizantes é dupla:

- Emissões diretas e indiretas de N₂O no solo, um GEE com potencial de aquecimento global muito elevado.

O óxido nitroso (N_2O) é um GEE com um potencial de aquecimento global (GWP) cerca de **273 vezes maior que o do CO_2** num horizonte de 100 anos, sendo a agricultura a sua principal fonte de emissões. As emissões de N_2O no solo são classificadas em diretas e indiretas, de acordo com o local e o momento em que ocorrem.

As emissões de N_2O resultam primariamente de processos microbianos naturais no solo, especificamente a **nitrificação** e a **desnitrificação**. Estes processos são altamente influenciados pela disponibilidade de nitrogénio (N), que aumenta significativamente com a aplicação de fertilizantes nitrogenados e a deposição de excretas animais.

Emissões Diretas

As emissões diretas ocorrem no **local exato** onde o nitrogénio é aplicado ou depositado no solo.

Origem
A fonte mais comum é a aplicação de fertilizantes nitrogenados (como a ureia), que introduzem grandes quantidades de N no solo.
Mecanismo
Os microrganismos do solo convertem este N em N_2O através dos processos de nitrificação (oxidação do amoníaco para nitrato) e desnitrificação (redução do nitrato para N_2O e N_2).
Fatores de Influência
As condições climáticas (temperatura e precipitação), o tipo de solo, o teor de água e a população microbiana local podem causar grande variabilidade nas emissões diretas.

Tabela 10 - Características das emissões diretas de N_2O

Fonte: Elaboração própria.

Emissões Indiretas

As emissões indiretas ocorrem fora do local e/ou momento da aplicação inicial do N.

Origem
Resultam da volatilização do nitrogénio (principalmente como amoníaco, NH_3) para a atmosfera, que depois se deposita noutra local, ou da lixiviação/escoamento de nitrato (NO_3^-) para cursos de água.
Mecanismo
O N depositado ou lixiviado para um novo ambiente (solo diferente, água) é sujeito a processos microbianos de nitrificação e desnitrificação, resultando na formação e emissão de N_2O a partir dessa nova localização.

Tabela II - Características das emissões indiretas de N_2O

Fonte: Elaboração própria.

Mitigação na Agricultura

A agricultura contribui com a maior parte das emissões de N_2O . Estratégias com adoção de boas práticas agrícolas para reduzir estas emissões incluem:

- A utilização de inibidores de nitrificação ou urease para retardar a conversão microbiana do N;
- O ajuste da dose e do intervalo de aplicação dos fertilizantes às necessidades da cultura;
- A melhoria das práticas de gestão da irrigação e do solo.

A adoção de boas práticas agrícolas pode ajudar a reduzir significativamente estas emissões.

- **Emissões associadas à produção industrial dos fertilizantes (processo *Haber-Bosch*, uso de energia fóssil).**

O processo industrial de produção de fertilizantes (processo *Haber-Bosch*) está associado a emissões significativas de gases com efeito de estufa (GEE),

principalmente dióxido de carbono (CO₂) e óxido nitroso (N₂O), devido ao seu elevado consumo de energia fóssil e às reações químicas envolvidas no processo. Em sistemas de produção em vaso ou sem sebe, onde a produtividade é maior, a fertilização tende a ser mais frequente e tecnicada. Isto pode traduzir-se numa maior eficiência por kg de azeite produzido (menos emissões por unidade de produto), mas também numa maior carga total de nutrientes por hectare, aumentando o risco de emissões e lixiviação caso não haja uma gestão rigorosa.

Práticas mais sustentáveis em expansão:

- **Fertirrega de precisão**, calibrada com base em análises de solo/folha e sensores, reduzindo o excesso de aplicação;
- **Substituição parcial de fertilizantes minerais** por matéria orgânica estabilizada (compostos de bagaço, estrumes, restos de poda triturados);
- **Modelos de balanço de nutrientes**, que ajustam a fertilização às exportações reais de nutrientes pela cultura.

Assim, a fertilização passa de um modelo “cegueira produtivista” para um modelo de nutrição de precisão, que concilia produtividade, custo e redução de emissões.

2.4.2 Fitofármacos: de Baixa Intensidade Química à Proteção Integrada

O olival tradicional, com menor densidade e maior heterogeneidade varietal, mantinha pressões fitossanitárias relativamente moderadas, embora com perdas significativas em alguns anos (mosca da azeitona, gafa, doenças fúngicas). A intensificação dos sistemas produtivos, com densidades elevadas e áreas de monoculturas mais extensas, criou condições favoráveis ao desenvolvimento e à

disseminação de pragas e doenças, conduzindo ao aumento do uso de fitofármacos.

Os **impactos ambientais dos fitofármacos** não se medem apenas em termos de pegada carbónica (que é real, mas menor do que nos fertilizantes), mas também em:

- Risco de contaminação de solos e águas;
- Efeitos na biodiversidade funcional (insetos auxiliares, polinizadores, inimigos naturais das pragas),
- Perceção social e de mercado (valorização crescente de azeites com reduzida carga química ou certificados biológicos).

A evolução recente da política fitossanitária na União Europeia evidencia uma redução progressiva do número de substâncias ativas autorizadas, acompanhada por uma maior pressão regulatória e por uma exigência crescente da adoção da proteção integrada de pragas (IPM – *Integrated Pest Management*). Esta abordagem assenta num conjunto de princípios fundamentais, nomeadamente:

- Monitorização sistemática de pragas e doenças, como base para a tomada de decisão;
- Limiares económicos de ataque;
- Uso de armadilhas, atrativos, caulinos e biopesticidas;
- Proteção da fauna auxiliar através de cobertos vegetais.

Nos **olivais com níveis mais avançados de sustentabilidade**, em particular nos biológicos ou regenerativos, observa-se:

- A substituição de tratamentos de largo espectro por estratégias combinadas (armadilhas de captura massiva, tratamentos pontuais de baixo impacto);
- O planeamento da estrutura da paisagem (sebes, manchas de vegetação espontânea) para favorecer a presença de inimigos naturais.

Deste modo, a proteção fitossanitária evolui de uma abordagem predominantemente reativa e assente no controlo químico para um modelo ecológico e preventivo, baseado na antecipação do risco, na regulação biológica e na minimização das intervenções. Esta transição está alinhada com os princípios da estratégia “Do Prado ao Prato” da União Europeia, que promove sistemas agroalimentares mais sustentáveis, resilientes e eficientes no uso de recursos.

2.4.3 Água de Rega: da Dependência do Clima à Gestão Hídrica Inteligente

A água representa talvez o ponto mais sensível da sustentabilidade do olival, sobretudo no contexto da crise climática. No olival tradicional de sequeiro, a produção depende quase totalmente da precipitação, com anos de “safra” e “contra-safra” marcados.

A modernização do setor, em especial no Alentejo, assentou fortemente na introdução da rega gota-a-gota, apoiada em infraestruturas como o Alqueva, permitindo produtividades muito superiores e maior regularidade.

No entanto, esta intensificação do uso da água implica:

- Pressão acrescida sobre recursos hídricos em bacias já vulneráveis;
- Potenciais conflitos com outros usos da água (urbano, ecológico, outros setores agrícolas);
- Maior exposição económica a períodos de escassez e restrições.

Do ponto de vista climático, o uso de água está relacionado com a energia necessária para a captar e bombear (emissões indiretas) e a uma possível alteração do balanço hídrico local, com impactos no ecossistema. A questão central, porém, prende-se com a sustentabilidade de longo prazo da disponibilidade de água, bem como com a aceitação e reputação do setor em contextos de seca.

Transição para práticas mais sustentáveis:

- Rega deficitária controlada, que otimiza a produtividade hídrica, admitindo ligeiras reduções de produção em troca de grandes poupanças de água.
- Agricultura de precisão aplicada à rega recorrendo a sensores de humidade, estações meteorológicas, modelos de evapotranspiração, ou imagens de satélite/drones.
- Integração da água no planeamento territorial: escolha de variedades e densidades adaptadas às condições locais, evitando modelos que só são viáveis com água abundante e barata.

Assim, a evolução desejável consiste em transitar de um paradigma de “água como fator ilimitado” para uma abordagem de “água como recurso escasso a gerir com rigor”, integrando critérios climáticos e ecológicos na decisão de investimento.

2.4.4 Combustíveis e Eletricidade: Mecanização, Energia e Descarbonização

A mecanização foi um dos grandes motores da modernização do olival:

No modelo tradicional, muitas operações (colheita, poda, transporte de pequenas quantidades) eram manuais ou semi-mecanizadas, com menor consumo de gásóleo, mas maior intensidade de mão de obra.

No em vaso e em sebe, a mecanização da colheita e de outras operações tornou-se inevitável, aumentando significativamente o consumo de combustíveis fósseis por hectare, mesmo que o consumo por kg de azeite possa ter diminuído graças ao aumento da produtividade.

Este consumo de gásóleo contribui diretamente para as emissões de CO₂ do setor. Em paralelo, a eletricidade utilizada nos sistemas de bombagem de água e nos lagares constitui outra fonte importante de emissões, cuja magnitude depende tanto da intensidade carbónica do mix elétrico, como do grau de eficiência dos equipamentos.

A sustentabilidade energética do setor depende de três vias principais:

- a) **Redução do consumo** – otimização de trajetos, máquinas mais eficientes, uso de motores IE4 e IE5 e variadores de frequência, manutenção adequada dos equipamentos, isolamento térmico, colheita planeada para reduzir passagens.
- b) **Substituição de fontes fósseis por renováveis** – eletrificação progressiva de máquinas, adoção de tratores híbridos/elétricos quando tecnicamente viáveis, uso de bombas elétricas alimentadas por energia fotovoltaica.
- c) **Produção de energia renovável própria** (autoconsumo) – painéis solares em lagares e infraestruturas de rega.

Nos sistemas mais intensivos, estas soluções tornam-se economicamente atrativas devido à escala e à magnitude dos consumos, criando condições para

que os olivais mais modernos sejam também líderes na descarbonização energética.

2.4.5 Gestão de Resíduos e Subprodutos: de Passivo Ambiental a Recurso Estratégico

A produção de azeite gera fluxos de resíduos e subprodutos, incluindo o bagaço, águas ruças, lamas de lagar e resíduos de embalagens.

No passado, em contextos mais tradicionais:

- O bagaço podia ser utilizado como combustível rudimentar, ou simplesmente acumulado, com risco de odores e lixiviação;
- As águas ruças eram por vezes descarregadas sem tratamento adequado, com impactes relevantes no solo e linhas de água; as podas eram queimadas no campo, libertando CO₂ e partículas.

Com a evolução do quadro regulatório e tecnológico, foi imperativo mudar a gestão destes fluxos:

- O bagaço é cada vez mais valorizado como fonte de energia (biomassa), matéria-prima para extração de óleo de bagaço e, em alguns casos, matéria orgânica para compostagem;
- As águas ruças são objeto um controlo rigoroso, com soluções de armazenamento, aplicação controlada no solo, co-digestão ou outros processos de tratamento;
- As podas trituradas e incorporadas no solo tornam-se um elemento central na agricultura regenerativa, contribuindo para o sequestro de carbono e melhoria da estrutura do solo.

- A embalagem é pensada numa perspetiva de ecodesign, de forma a otimizar a reciclagem dos materiais e reduzir ao máximo a pegada carbónica do seu fabrico e transporte, assegurando a qualidade devida do produto final.

A passagem de uma lógica de “resíduo-problema” para “subproduto-recurso” é crucial para consolidação da economia circular no setor e tem impacto direto na sua pegada carbónica:

- Reduz emissões de CH₄ e N₂O associadas à decomposição descontrolada;
- Substitui combustíveis fósseis por biomassa;
- Recicla nutrientes e carbono para o solo;
- Recicla materiais;
- Promove a preservação de recursos naturais e o uso eficiente de energia.

2.4.6 Práticas Sustentáveis Transversais: da Tradição à Inovação Regenerativa

Curiosamente, algumas das práticas atualmente promovidas como “regenerativas” ou “de baixo carbono” recuperam intuítos presentes no olival mais tradicional:

- **Coberto vegetal espontâneo ou semeado:** que anteriormente se considerava como “mato”, é agora gerido como aliado contra a erosão, a perda de carbono e como promotor de biodiversidade;
- **Integração com pastoreio extensivo:** prática ancestral que ganha novo protagonismo enquanto estratégia eficaz de reciclagem de nutrientes, controlo da vegetação e redução do uso de meios mecânicos ou químicos;

- **Uso de matéria orgânica local:** uma reinterpretação moderna do estrume e dos restos culturais.

A diferença fundamental está na forma como estas práticas são agora:

- **Quantificadas** (pegada carbónica, indicadores de carbono no solo);
- **Integradas em sistemas tecnológicos** (sensores, mapeamento, certificação);
- **Posicionadas no mercado** (rótulos de sustentabilidade, prémios de valor).

O setor encontra-se assim num ponto de convergência entre tradição e inovação: os olivais mais intensivos e tecnologicamente mais avançados podem incorporar princípios ancestrais (solo vivo, diversidade, reciclagem de biomassa) apoiados por ciência, digitalização e novos modelos de negócio, tornando a intensificação compatível com a neutralidade carbónica.

3. Cenário Base de Emissões

3.1 Objetivo, Âmbito e Fronteiras do Cenário Base

O cenário base de emissões (ou *baseline*) tem como objetivo caracterizar, de forma quantitativa, consistente e coerente, o perfil atual de emissões de gases com efeito de estufa (GEE) do setor oleícola português, servindo este de referência para avaliar o potencial de redução associado às medidas propostas neste Roteiro de Descarbonização.

Unidade funcional e fronteiras

Para efeitos deste roteiro são consideradas duas unidades funcionais principais de emissão de CO₂:

- **Por hectare de olival** (t CO₂eq/ha/ano): relevante para comparar sistemas de produção (tradicional, em copa, em sebe);
- **Por litro de azeite** (kg CO₂eq/L): relevante para rotulagem ambiental, comunicação com consumidores e mercados.

As fronteiras de sistema – atividades, processos, fluxos e emissões incluídos ou excluídos na análise do perfil atual de emissões de GEE do setor oleícola – adotadas seguem uma lógica “do campo ao portão” (*cradle-to-gate*), incluindo:

- ✓ **Fase agrícola (olival):**
 - Produção e aplicação de fertilizantes e corretivos;
 - Uso de fitofármacos;
 - Consumo de gasóleo e lubrificantes em tratores e máquinas;
 - Energia associada à bombagem de água de rega;
 - Transporte da azeitona até o lagar.
- ✓ **Transformação em lagar:**

- Consumo de eletricidade (moagem, centrifugação, bombagem, climatização);
- Eventual energia térmica (aquecimento de água/pastas).
- ✓ Embalamento e armazenamento:
 - Produção dos materiais de embalagem (quando quantificável);
 - Consumo de energia em armazéns, incluindo sistemas de climatização e conservação.

Não são incluídas, neste cenário base, as emissões associadas:

- À distribuição (nacional e internacional);
- À utilização culinária (fase de consumo);
- Ao fim de vida das embalagens.

Todos os GEE relevantes (CO₂, CH₄ e N₂O) são convertidos em CO₂ equivalente utilizando fatores de potencial de aquecimento global (GWP) do IPCC AR5, em linha com o Inventário Nacional de Emissões português.¹²

¹² INIAV. *Forest, agriculture, climate change and food security challenges in the mediterranean basin and Portugal: an assessment*. Disponível em: [INIAV](#)

3.2 Metodologia e Fontes de Dados

A construção do cenário base recorre à combinação de:

<p>Inventário Nacional de Emissões (APA – SNIERPA/INERPA)</p> <p>Fornecer metodologias e fatores de emissão nacionais para os setores Agricultura, Energia, Resíduos e Processos Industriais, alinhados com as 2006 IPCC <i>Guidelines</i> e atualizações.</p>
<p>Estatísticas agrícolas e energéticas nacionais (INE, GPP, EDIA, Olivum, etc.)</p> <p>Área de olival, produção de azeitona e azeite, rendimentos médios, área de regadio, estrutura dos sistemas produtivos, consumos energéticos no regadio.</p>
<p>PEGADA 4.0</p> <p>Consórcio nacional com entidades técnico-científicas, de investigação, de transferência de conhecimento que sintetiza fatores de emissão por unidade de insumo (fertilizantes, gásóleo, eletricidade, etc.) e por tipologia de sistema agrícola em Portugal, incluindo culturas permanentes.</p>
<p>Estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (LCA) sobre olivais e azeite em Portugal</p> <p>Brito & Fernandes-Silva (2022) – LCA de um olival semi-intensivo regado em Trás-os-Montes, com resultado de ~0,249 kg CO₂eq/kg de azeitona (apenas fase agrícola, <i>cradle-to-gate</i>).</p> <p>Sales et al. (2022) – LCA comparativo de olivais tradicional, em vaso e em sebe em Portugal (<i>Journal of Cleaner Production</i>), permitindo identificar os principais contributos (fertilizantes, gásóleo, rega) em cada sistema.</p>
<p>Outros estudos e teses portuguesas sobre pegada do azeite e LCA</p>

Por exemplo Cunha (2014); estudos citados em Sales et al. 2022.

Estudos internacionais sobre pegada de azeite

Trabalhos em Espanha, Itália, Grécia e projetos como OLIVE4CLIMATE e LCA de sistemas de olivicultura mediterrânica, que apontam para intervalos típicos de 1,8 a 8,2 kg CO₂eq/L de azeite, dependendo da intensidade do sistema, rendimentos e práticas adotadas.

Estes elementos são usados de forma coerente para construir valores-tipo (intervalos indicativos) para o caso português, evitando extrapolações excessivamente precisas que poderiam induzir falsa robustez.

3.3 Inventário Atual de Emissões – Perfil Médio do Setor

3.3.1 Emissões por Hectare de Olival

Com base em Brito & Fernandes-Silva (2022), um olival em vaso regado em Trás-os-Montes apresenta emissões na ordem de 0,249 kg CO₂eq/kg de azeitona, considerando toda a fase agrícola.

Admitindo produtividades de 8–12 t/ha em sistemas em vaso ou em sebe, obtém-se um intervalo indicativo de cerca de: 2,0–3,0 t CO₂eq/ha/ano (fase agrícola), em explorações com rega e fertilização moderada.

Estudos LCA na região mediterrânica, incluindo Espanha e Itália, apontam para valores similares ou ligeiramente superiores em sistemas em sebe, sobretudo quando os inputs (fertilizantes e água) não são otimizados.

Nos olivais tradicionais de sequeiro, as emissões por hectare tendem a ser mais baixas (menos fertilizantes, menos rega, menos mecanização), mas as emissões por unidade de produto podem ser mais elevadas, devido à produtividade mais reduzida (por exemplo, 1–3 t/ha). As estimativas LCA internacionais situam muitas

vezes estes sistemas em torno de 0,3–0,5 kg CO₂eq/kg de azeitona, no entanto com grande variação consoante a gestão do solo e dos inputs.

3.3.2 Emissões por Litro de Azeite

Considerando a conversão aproximada de 4–5 kg de azeitona por 1 L de azeite (dependendo do rendimento industrial e qualidade requerida), e combinando: emissões agrícolas (olival), emissões da fase de lagar, energia de embalagem e transporte curto, a literatura e estudos de caso sobre azeite português e mediterrânico sugerem uma gama típica de:

- 2–5 kg CO₂eq/L de azeite virgem/virgem extra, com valores mais baixos em sistemas eficientes e com práticas regenerativas, e valores mais altos em sistemas com maior intensidade de insumos, rendimentos mais baixos ou cadeias logísticas menos otimizadas;
- Alguns estudos específicos apontam para amplitudes mais largas (1,8–8,2 kg CO₂eq/L), principalmente quando se incluem cenários pouco eficientes ou quando a funcionalidade do azeite (como parte de misturas e outras saídas) é tratada de diferentes formas metodológicas.

3.3.3 Repartição das Emissões ao Longo da Cadeia

A repartição percentual típica das emissões, para um sistema moderno português em vaso ou em sebe é, aproximadamente:

- **Fase agrícola** (70–85% das emissões totais):
 - Fertilizantes azotados e emissões de N₂O no solo: 30–45%;
 - Gasóleo agrícola (tratores, colheita mecanizada): 20–30%;
 - Rega (energia para bombagem): 10–20%;
 - Outros insumos (fitofármacos, maquinaria, infraestruturas): 5–10%;

- Transporte da azeitona (curtas distâncias, mas com grande volume, muitas vezes com veículos pesados): 5-10%.

Estes valores são consistentes com Brito & Fernandes-Silva (2022), que identificam a produção e aplicação de fertilizantes e o sistema de rega (incluindo fabrico dos materiais) como contribuintes relevantes, bem como com a análise PEGADA 4.0 para culturas permanentes regadas em Portugal.

Uma comparação direta entre os produtores F1 e F2 demonstra a importância do uso de fertilizantes e da produtividade. Embora ambos produtores tenham utilizado quantidades semelhantes de combustíveis fósseis por hectare em suas operações agrícolas, a aplicação de fertilizantes foi diferente. A F2 utilizou mais que o dobro de fertilizantes por hectare e ainda mais por kg de azeitonas devido à sua produtividade ligeiramente menor. Isso implicou em emissões na fase de produção (provenientes da produção de fertilizantes) que representam mais que o dobro para o produtor F2, além de emissões muito maiores no campo de fertilização (0,44 vs. 0,18 kg CO₂eq kg⁻¹). Em conjunto, esses efeitos fazem com que as emissões de cultivo do produtor F2 sejam mais que o dobro por kg de azeitonas em comparação com as do produtor F1 (1,46 e 0,55 kg CO₂eq kg⁻¹, respetivamente).

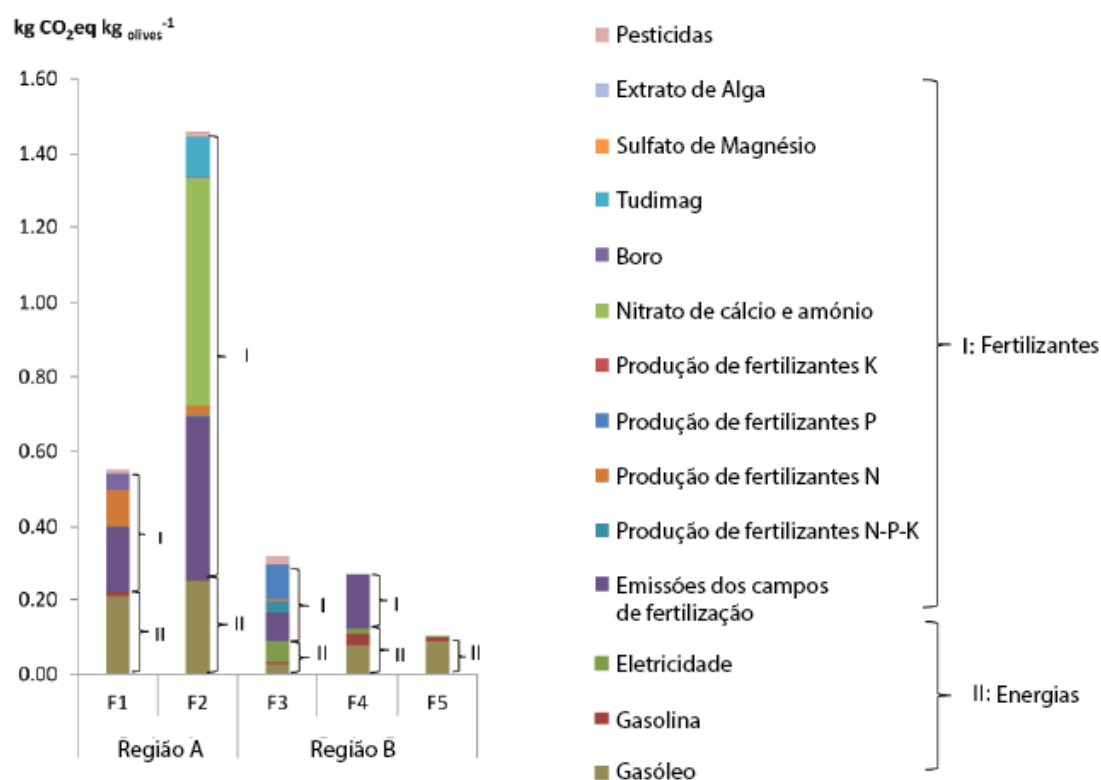


Figura 14 - Intensidade de GEE no cultivo do olival

Fonte: Figueiredo et al. (2013, p. 5).

- **Transformação em lagar (10–20%):**
 - Consumo de eletricidade para moenda, centrifugação e bombagem;
 - Eventual consumo de energia térmica para aquecimento de pastas/água;
 - Estudos LCA mostram que, em lagares modernos e com mix elétrico em progressiva descarbonização, a contribuição relativa da fase industrial tende a ser menor do que a fase agrícola, mas ainda significativa (frequentemente 0,3–0,8 kg CO₂eq/L).¹³
- **Resíduos e subprodutos (variável; pode reduzir o saldo líquido):**

¹³ Figueiredo et al. (2013), *Life-cycle greenhouse gas emissions of Portuguese olive oil*. Disponível em: Academia.edu

- Em sistemas em que o bagaço é valorizado energeticamente, pode haver crédito de emissões evitadas (substituição de combustíveis fósseis), reduzindo o balanço global da pegada de carbono do azeite;
- Quando a gestão é inadequada (depósitos a céu aberto, descarga de águas ruças sem tratamento), há emissões adicionais de CH₄ e N₂O, bem como impactes locais.¹⁴

3.4 Projeções de Emissões Futuras em Cenário “Business as Usual” (BAU)

O cenário BAU assume que:

- Se mantêm as tendências recentes de modernização do setor (substituição gradual de olivais tradicionais por olivais em vaso ou em sebe), a área total de olival se mantém estável ou cresce lentamente, com manutenção da predominância do Alentejo como principal região produtora, apoiado no regadio do Alqueva.¹⁵
- A eletricidade nacional continua a descarbonizar (aumento de renováveis), mas não há adoção massiva de medidas de mitigação específicas no setor (ex.: fertilização de precisão generalizada, energia 100% renovável nos lagares, regeneração sistemática de solos).

À luz desta trajetória:

➤ Emissões totais do setor

Com o aumento da produtividade e da produção de azeite observado na última década, o contributo absoluto do setor oleícola para as emissões agrícolas

¹⁴ OLIVE4CLIMATE – LIFE, *Layman’s Report* (2019). Disponível em: [OLIVE4CLIMATE – Layman’s Report](#)

¹⁵ Visita Comissão de Agricultura e Pescas (2024). Disponível em: [Jantar OLIVUM \(Herdade da Diabrória – Beja\)](#)

tenderá a manter-se ou aumentar ligeiramente, mesmo que as emissões por litro se estabilizem ou caiam modestamente.

➤ **Intensificação energética e hídrica**

A maior dependência da rega e da mecanização da colheita aumenta a importância relativa dos consumos energéticos (gasóleo e eletricidade).

Se não forem adotadas medidas de eficiência hídrica e energética, o cenário BAU poderá ancorar o setor em perfis de emissões relativamente elevados por hectare, mesmo que a intensidade por litro permaneça competitiva.

➤ **Fertilizantes e solo**

A manutenção de estratégias de fertilização pouco precisas ou baseadas em doses “de tabela” tenderá a manter os fatores de emissão de N₂O em patamares elevados, contrariando o potencial do setor para contribuir como sumidouro de carbono (via aumento de matéria orgânica no solo).

➤ **Competitividade internacional**

Mercados e retalhistas estão a incorporar requisitos de pegada carbónica e rotulagem ambiental. Num cenário BAU, o risco é que o azeite português se veja forçado a responder a exigências externas “em cima da hora”, sem um planeamento faseado da descarbonização, o que pode afetar margens e acesso a mercados premium.

Em síntese, o BAU poderá não conduzir a um aumento dramático da intensidade carbónica por litro, mas prolongará a dependência de insumos de elevada pegada (fertilizantes, gasóleo, energia de origem fóssil) e atrasará o aproveitamento pleno do potencial regenerativo do olival.

3.5 Identificação dos Principais Hotspots de Carbono

Com base nas análises anteriores, nos referenciais PEGADA 4.0 e nos estudos LCA para o contexto português, podem identificar-se como principais hotspots de carbono ao longo da cadeia do setor oleícola:

Fertilização azotada (campo)

É, em muitos cenários, o maior contributo para o aquecimento global, tanto pelo consumo de energia na fabricação dos fertilizantes como pelas emissões de N₂O no solo após a aplicação. Reduções e otimizações neste ponto têm um impacto desproporcionalmente elevado na redução da pegada de carbono.

Consumo de gasóleo em operações agrícolas e colheita

A mecanização intensiva (poda, mobilização, colheita em sebe) gera emissões diretas de CO₂. A renovação de maquinaria, otimização de operações e, a prazo, eletrificação parcial, são essenciais para reduzir este hotspot.¹⁶

Energia para rega

Sobretudo em olivais em vaso e em sebe de regadio, a energia para bombear água representa uma componente crescente da pegada carbónica, em especial quando se recorre a furos profundos ou a sistemas de rega com baixa eficiência.

Consumo elétrico nos lagares

Embora relativamente menor face à fase agrícola, continua a ser um hotspot relevante, principalmente quando os lagares operam com equipamentos antigos ou sem gestão otimizada de energia. A transição para eletricidade de origem

¹⁶ Sales et al. (2022), *Assessing the environmental sustainability of Portuguese olive growing practices from a life cycle assessment perspective*, *Journal of Cleaner Production*. Disponível em: [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com).

renovável e equipamentos de alta eficiência tem um potencial de redução significativo.

Gestão de resíduos (bagaço, águas ruças, podas)

A gestão inadequada pode gerar emissões de CH₄ e N₂O; a valorização energética do bagaço, a compostagem das podas e o tratamento adequado das águas ruças podem transformar este hotspot num vetor de mitigação líquida (evitadas emissões noutros setores).

Alterações no uso do solo e degradação da qualidade do solo

A substituição de olivais tradicionais por sistemas modernos mal geridos pode levar a perda de carbono no solo, erosão e compactação. Por outro lado, práticas regenerativas (coberto vegetal, incorporação de matéria orgânica) podem transformar o olival num sumidouro líquido de carbono, se bem geridas.¹⁷

¹⁷ García-García et al. (2024), *Environmental performance of olive oil production systems: A life cycle assessment approach*, *Journal of Cleaner Production*. Disponível em: [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com).

3.6 Síntese para o Roteiro

Em termos operacionais para o Roteiro de Descarbonização, o cenário base aqui descrito permite:

- ✓ Definir metas de redução por unidade de produto (kg CO₂eq/L) e por hectare (t CO₂eq/ha), com base em intervalos realistas para o contexto português;
- ✓ Priorizar medidas nos hotspots com melhor relação custo-benefício (fertilização, energia da rega, mecanização, eletricidade dos lagares, gestão de subprodutos);
- ✓ Comparar sistemas produtivos (tradicional vs. em vaso vs. em sebe) não apenas em termos de produtividade, mas de intensidade carbónica e capacidade regenerativa;
- ✓ Preparar o setor para exigências futuras de certificação climática (EPDs, rotulagem de pegada, esquemas de carbono no solo, etc.).

4. Estratégias e Medidas de Descarbonização

4.1 Agricultura e Produção Primária

Tendo em conta que o nível mais elevado de emissões de GEE ocorre na fase inicial da cadeia de valor da produção do azeite, isto é, no cultivo do olival, este é sem dúvida um momento crítico no que diz respeito à descarbonização do setor.

Há que considerar quais os processos em que são gerados os maiores impactos, assim como quais as estratégias a adotar quer a nível de redução das emissões quer a nível de sequestro de carbono, bastante significativo nesta fase da produção. A abordagem terá que considerar, logo a partida, se a produção ocorre em regime de olival tradicional, em vaso ou em sebe.

A rega, a aplicação de fertilizantes, a mobilização do solo e a mecanização são os processos que geram mais emissões na fase de cultivo, pelo que importa identificar e quantificar esses impactos, assim como encontrar as melhores soluções alternativas que visem reduzir a quantidade de GEE emitidos.

4.1.1 Rega e Fertirrega

Tem se verificado, ao longo da última década, um aumento significativo da área de olival em regadio em Portugal, que passou de cerca de 20% para 32% da área total, desenvolvimento associado sobretudo à instalação de novos olivais e à modernização dos sistemas de produção. Constata-se que este crescimento ocorreu em todas as principais regiões produtoras, embora de forma particularmente acentuada no Alentejo, onde, entre 2009 e 2019, a proporção de olival regado aumentou de aproximadamente 35% para 53% da área regional, em estreita relação com a expansão das infraestruturas de regadio associadas ao Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva.

Em contraste, na região de Trás-os-Montes, o crescimento da área de olival em regadio foi mais reduzido, registando-se um aumento de cerca de 2% no mesmo período, representando atualmente o regadio apenas 7% da área regional de olival. Nesta região, o olival de sequeiro mantém-se como o sistema dominante, refletindo estrangimentos estruturais relacionados com a disponibilidade de recursos hídricos, em parte associados à insuficiente capacidade de armazenamento que permita regularizar a oferta de água entre períodos de excesso e de escassez.

Este contexto, demonstra que o regadio constitui um fator estruturante para a modernização, competitividade e resiliência climática da olivicultura nacional, num país marcado por um clima mediterrânico, caracterizado pela concentração da precipitação no outono e inverno e por défices hídricos durante o período vegetativo da oliveira. A crescente frequência e intensidade dos episódios de seca, associada às alterações climáticas, reforça a centralidade da água como recurso estratégico e a necessidade de uma gestão integrada, eficiente e sustentável.

Importa salientar que o olival se destaca como uma das culturas de regadio com menores necessidades relativas de água, beneficiando da sua elevada adaptação às condições edafoclimáticas mediterrânicas e da capacidade de manter níveis de produção economicamente relevantes mesmo sob estratégias de rega deficitária controlada. Esta característica confere ao setor um potencial significativo para conciliar ganhos de produtividade com a redução da pressão sobre os recursos hídricos e energéticos, alinhando-se com os objetivos de descarbonização.

No âmbito do presente Roteiro de Neutralidade Carbónica do setor oleícola, a expansão do olival regado deverá, por isso, ser orientada por uma lógica de baixo

carbono, assente no reforço das infraestruturas de armazenamento e aproveitamento da água das chuvas, na modernização e otimização dos aproveitamentos hidroagrícolas existentes, bem como na promoção do uso racional e eficiente da água de rega. A implementação de sistemas de apoio à decisão, capazes de orientar tecnicamente o momento e a dotação de rega, aliada à adoção de tecnologias de elevada eficiência hídrica e energética, à integração de energias renováveis e às práticas de agricultura de precisão, assume um papel determinante para garantir que o aumento da produtividade não se traduza num acréscimo proporcional do consumo energético nem das emissões indiretas de gases com efeito de estufa ao longo da cadeia produtiva.

Olival Tradicional

No olival tradicional, ainda é praticada maioritariamente a agricultura de sequeiro, o que apresenta como vantagem a poupança energética associada à dispensa de bombagem e rega, assim como a escusa de viaturas para este fim, logo menor uso de combustíveis fósseis e de emissão de GEEs. Este panorama só é possível em regiões que não se debatem com a fraca pluviosidade ou em anos que não ocorre a escassez hídrica no país. Em termos de descarbonização, a rega de apoio, praticada pontualmente, como recurso, não é de forma geral criticamente adotada tendo em conta a redução das emissões.

Embora já residual, ainda se observa, de forma pontual, a utilização de tratores com cisternas para rega de apoio em alguns olivais tradicionais, esta prática apresenta elevada ineficiência hídrica e energética, estando associada a consumos significativos de combustível fóssil. Trata-se de uma solução residual e transitória, cuja eliminação progressiva deverá ser promovida no âmbito das estratégias de descarbonização do setor.

Em suma, o olival tradicional mantém-se predominantemente em regime de sequeiro e quando existe rega, esta assume geralmente a forma de rega de apoio, aplicada de forma pontual em períodos críticos do ciclo vegetativo, recorrendo, cada vez mais, a sistemas simplificados de gota-a-gota, como medida de adaptação à crescente variabilidade climática.

Em situações de necessidade de bombagem, por exemplo para enchimento de uma charca de abastecimento, aconselha-se a utilização de motores elétricos equipados com variadores de velocidade, que poderão ser alimentados por energia solar, o que permite uma maior eficiência energética e redução no nível de emissões.

Olival em Copa e Olival em Sebe

No olival em copa ou em sebe, a rega é realizada predominantemente por sistemas de gota-a-gota fixos e tecnicamente dimensionados, com gestão regular e elevada eficiência hídrica, frequentemente integrados com fertirrega e ferramentas de agricultura de precisão, constituindo um eixo central tanto da produtividade como das estratégias de descarbonização do setor.

Pelo facto de apresentarem uma maior densidade de plantação, o cultivo no olival em copa ou em sebe vê-se obrigado a fazer uma gestão criteriosa da rega, fator estruturante na sua produtividade. Por essa razão, nestes regimes, é imperativo que se faça uma gestão hídrica recorrendo a técnicas de precisão e monitorização contínua das árvores e do solo.

Nestes regimes de produção, as soluções de rega mais inovadoras para a descarbonização assentam na combinação de rega deficitária controlada, sistemas de apoio à decisão baseados em evapotranspiração, sensores de

humidade do solo e bombagem alimentada por energia renovável, permitindo reduzir significativamente o consumo de água e energia sem comprometer a produtividade e a qualidade do azeite.

Soluções de rega inovadoras para descarbonização

A. Rega deficitária controlada (<i>RDI – Regulated Deficit Irrigation</i>)
O que é
Consiste em aplicar menos água do que a evapotranspiração máxima em fases menos sensíveis do ciclo da oliveira, mantendo níveis adequados nas fases críticas.
Contributo para descarbonização
<ul style="list-style-type: none"> - Redução direta do volume de água bombeada → menos consumo energético; - Manutenção da produtividade e, em muitos casos, melhoria da qualidade do azeite (maior teor fenólico).
Evidência científica
Estudos em variedades como Cobrançosa e Arbequina mostram que RDI pode reduzir a água aplicada em 20–40% sem perdas significativas de produção. Fernandes-Silva <i>et al.</i> (2021 e 2022) e Santos <i>et al.</i> (2007) demonstram ganhos na produtividade e estabilidade da produção.
Aplicabilidade
Altamente recomendada para olival em vaso e em sebe, sobretudo em regadio organizado.

B. Sistemas de apoio à decisão (DSS) baseados em evapotranspiração
O que são
Plataformas digitais que integram: dados meteorológicos, modelos de evapotranspiração (ET_0), coeficientes culturais ajustados ao olival, previsões climáticas.
Contributo para descarbonização
<ul style="list-style-type: none"> - Evitam sobrerrega crónica;

- Reduzem bombagem elétrica e desgaste de equipamentos;
- Diminuem a necessidade de correções posteriores (fertilização extra).

Evidência científica

Estudos europeus mostram reduções médias de 15–30% no consumo de água e energia com DSS bem implementados.

Exemplos práticos

Plataformas associadas a redes de rega do Alqueva e projetos-piloto em explorações alentejanas.

C. Sensores de humidade do solo e gestão em tempo real

O que são

Sensores capacitivos ou tensiométricos instalados a várias profundidades, ligados a sistemas automáticos de rega.

Contributo para descarbonização

- Rega apenas quando necessária;
- Menos bombagem e menor lixiviação de nutrientes (menos N₂O indireto);
- Melhoria da eficiência do uso da água (WUE).

Evidência científica

Ensaio em olivais em vaso e em sebe indicam poupanças de água superiores a 25%, com impacto direto na energia consumida.

Nota

São particularmente eficazes em solos heterogéneos e em olival em sebe, onde o volume de solo explorado é reduzido.

D. Rega localizada de alta eficiência (gota-a-gota otimizado)

O que é

Inovação face ao sistema “clássico”:

- Emissores autocompensantes de última geração;
- Setores hidráulicos mais pequenos (controlo fino);
- Linhas duplas ajustadas ao desenvolvimento radicular.

Contributo para descarbonização

Menores perdas de carga → menor consumo energético;
Uniformidade elevada → evita sobrerrega localizada.

Resultado

Melhor eficiência hídrica e energética por kg de azeitona produzida.

E. Integração de energia renovável na rega (solar fotovoltaica)

O que é

Bombagem elétrica alimentada parcial ou totalmente por energia solar fotovoltaica, com ou sem ligação à rede.

Contributo para descarbonização

- Eliminação ou redução quase total das emissões associadas à bombagem;
- Redução de custos energéticos de longo prazo;
- Maior resiliência face a flutuações de preço da eletricidade.

Estado da arte

Muito adequada a regas diurnas típicas do olival;
Crescente adoção no Alentejo, especialmente em explorações de média e grande dimensão.

F. Fertilização de precisão com balanço de nutrientes

O que é

Integração da rega com aplicação precisa de nutrientes, baseada em:

- Análises de solo e folha,
- Balanços de exportação da cultura,

- Histórico produtivo.
Contributo para descarbonização
- Redução do uso de fertilizantes azotados → menor N ₂ O; - Menos correções tardias e menos passagens mecanizadas; - Menor risco de lixiviação.
Evidência
Estudos indicam reduções de 10–30% no uso de fertilizantes, sem perdas produtivas.

G. Rega noturna e gestão da pressão
O que é
Programação da rega em períodos de menor evaporação e menor pressão na rede.
Contributo para descarbonização
- Menor volume necessário para o mesmo efeito; - Menor consumo energético por m ³ bombeado.
Nota
É uma solução simples, mas com ganhos cumulativos relevantes em sistemas extensos.

Motores elétricos equipados com variadores de velocidade (VFD)

A adoção de motores elétricos equipados com variadores de velocidade (VFD) nos sistemas de bombagem associados à rega e ao enchimento de charcas permite ajustar o caudal e a pressão às necessidades reais do sistema, reduzindo significativamente o consumo energético, as emissões indiretas de gases com efeito de estufa e os custos de operação, além de facilitar a integração de energia renovável.

Os variadores de frequência/velocidade (*Variable Frequency Drives* – VFD ou *Variable Speed Drives* – VSD) são equipamentos eletrónicos que permitem regular

a velocidade de rotação de motores elétricos, ajustando a frequência e a tensão da corrente elétrica fornecida.

Em sistemas de bombagem (rega, enchimento de charcas, pressurização), isto permite que o motor funcione apenas à potência estritamente necessária, em vez de operar sempre a plena carga.

Porque são particularmente relevantes para sistemas de rega? Nos sistemas tradicionais de bombagem as bombas operam frequentemente a velocidade constante, o caudal/pressão excedente é controlado por válvulas, e frequentemente ocorrem estrangulamentos ou perdas hidráulicas que geram desperdício significativo de energia.

Com utilização do VFD, o caudal e a pressão são ajustados pela velocidade do motor, não por perdas e reduz-se drasticamente o consumo elétrico, sobretudo em regimes parciais (muito comuns na rega agrícola).

Aplicação ao enchimento de charcas de abastecimento, no contexto típico no olival

No cultivo do olival é comum a necessidade de bombagem de água: de furos, de captações superficiais, de redes coletivas, para charcas ou reservatórios intermédios, que depois alimentam o sistema de rega gota-a-gota.

Este processo não exige pressões elevadas, ocorre frequentemente fora do período de rega direta e tem grande flexibilidade temporal (ideal para otimização energética).

Vantagens técnicas dos VFD no enchimento de charcas

Redução significativa do consumo energético

De acordo com as leis de afinidade das bombas, a potência consumida varia com o cubo da velocidade de rotação, o que significa que pequenas reduções na velocidade do motor, possíveis através de variadores de frequência, resultam em reduções muito significativas do consumo energético e das emissões associadas à rega.

Isto significa que reduzir a velocidade do motor em 20% pode reduzir o consumo elétrico em $\approx 50\%$ e pequenas reduções de rotação geram grandes poupanças energéticas.

Em enchimento de charcas, onde não é necessário caudal máximo constante, o potencial de poupança é elevado.

Arranque suave e menor desgaste

A utilização de motores equipados com variadores de velocidade, contribuí também para a eliminação de picos de corrente no arranque, reduzindo stress mecânico na bomba e na tubagem e assim diminuindo o risco de golpes de aríete. Em suma, aumenta a vida útil do sistema e reduz custos de manutenção.

Adaptação a variações de nível e altura manométrica

À medida que a charca enche, a altura manométrica varia. Um sistema sem VFD continua a consumir energia como se estivesse no pior cenário. Com VFD, o motor ajusta-se automaticamente à necessidade real e evita consumo excessivo quando a exigência hidráulica é menor.

Integração com energia solar fotovoltaica

Os VFD são tecnologia-chave para sistemas de bombagem solar direta e sistemas híbridos (rede + solar), pois permitem adaptar a velocidade da bomba à potência

instantânea disponível dos painéis e assim maximizar o autoconsumo e reduzir ou eliminar consumo de energia da rede o que se torna muito relevante para explorações oleícolas no Alentejo.

Tipos de controlo possíveis com VFD

- a) Controlo por pressão: Mantém pressão constante na tubagem, ideal para sistemas de rega com setores variáveis.
- b) Controlo por caudal: Ajusta o motor para fornecer um caudal definido, o que se revela útil em enchimento programado de charcas.
- c) Controlo por nível (charcas): Sensores de nível (ultrassónicos ou de pressão). O VFD reduz a velocidade à medida que o nível sobe e pode parar automaticamente quando atinge o nível máximo. Este é o cenário mais eficiente para enchimento de charcas.

Ganhos típicos de eficiência (ordem de grandeza)

Em sistemas agrícolas de bombagem:

- Poupança energética: 20–60%;
- Redução de emissões de CO₂: proporcional à eletricidade evitada;
- Redução de custos operacionais: frequentemente 30–50% no longo prazo;
- O retorno do investimento (*payback*): 2 a 5 anos (frequentemente menos quando combinado com solar).

Relevância para a descarbonização do setor oleícola

A utilização de motores com VFD contribui diretamente para:

- Redução do consumo elétrico na rega;

- Redução indireta de emissões de GEE, sobretudo quando a eletricidade não é 100% renovável;
- Maior viabilidade económica da transição para energias renováveis;
- Adaptação à escassez hídrica, ao permitir regas mais inteligentes e flexíveis.

4.1.2 Agricultura Regenerativa e Sequestro de Carbono

A agricultura regenerativa é um sistema de práticas agrícolas que visa melhorar a saúde do solo, da biodiversidade e do ecossistema como um todo. Em vez de se focar apenas na produção de alimentos, a agricultura regenerativa procura restaurar e regenerar os recursos naturais, promovendo a sustentabilidade a longo prazo.

A agricultura regenerativa e as Políticas Climáticas

A agricultura regenerativa tem vindo a ganhar relevância no contexto das políticas climáticas e agrícolas europeias como uma abordagem capaz de conciliar produção agrícola, conservação dos ecossistemas e mitigação das alterações climáticas.

Do ponto de vista de política climática, existe interesse crescente no papel dos olivais enquanto sistemas agrícolas capazes de contribuir para remoção de CO₂ (*carbon dioxide removal*), com destaque para o Mediterrâneo, sendo necessário quantificar o potencial e definir condições de implementação.

Importância da adoção da agricultura regenerativa no Olival

Na maioria das cadeias de valor do azeite, a fase agrícola concentra uma parcela elevada das emissões de GEE, sobretudo associadas à fertilização azotada (produção do fertilizante + emissões de N₂O no solo), ao consumo de energia (gasóleo e eletricidade) e, nos sistemas de regadio, à energia de bombagem. No

setor oleícola, esta abordagem assume particular importância, dado tratar-se de uma cultura permanente, característica que confere aos olivais um potencial estrutural para o sequestro e armazenamento de carbono, quer na biomassa lenhosa das árvores (tronco, ramo, raízes), quer, sobretudo, no solo, desde que a gestão favoreça entradas de carbono e minimize perdas por erosão e mineralização.

O balanço dinâmico de carbono no olival

Ao contrário de culturas anuais, em que o carbono capturado pela fotossíntese é rapidamente devolvido à atmosfera após a colheita, o olival permite a acumulação progressiva de carbono ao longo de décadas, desde que as práticas de gestão do solo e da biomassa favoreçam a incorporação de matéria orgânica e evitem processos de perda, como a erosão, a mineralização acelerada ou a queima de resíduos vegetais.

O carbono sequestrado num olival resulta do balanço dinâmico entre entradas de carbono (folhas, raízes, exsudados, biomassa do coberto vegetal, incorporação de podas e compostos) e saídas/perdas (mineralização acelerada por mobilização do solo, erosão hídrica e eólica, exportação de biomassa, incêndios/queimas e degradação estrutural).

Em termos práticos, o principal “cofre” de carbono de longo prazo é o solo, em particular as frações mais estáveis associadas a agregados e interações organo-minerais.

Práticas de agricultura regenerativa no olival

A agricultura regenerativa no olival não corresponde a um modelo único ou rígido, mas antes a um conjunto de práticas adaptáveis, entre as quais se destacam:

- Manutenção do solo permanentemente coberto (reduz erosão e aumenta entradas de biomassa);
- Reciclagem interna da biomassa (podas trituradas/composto);
- Diversificação biológica (raízes e micorrizas favorecem estabilização do carbono);
- Redução da mobilização do solo (limita a mineralização rápida);
- Integração do pastoreio.

Estas práticas têm como principais objetivos:

- Aumentar o carbono orgânico do solo (SOC) e estabilizá-lo no tempo;
- Manter ou melhorar a produtividade com redução da dependência de insumos externos;
- Reduzir a degradação física do solo (erosão/compactação);
- Promover a biodiversidade funcional e dos serviços dos ecossistemas.

Evidência experimental mostra que combinações de práticas (por exemplo, cobertos + incorporação de resíduos) tendem a gerar resultados mais robustos do que medidas isoladas, aumentando SOC e reduzindo riscos de desertificação.¹⁸

Abordagem detalhada sobre as principais práticas regenerativas com evidência no olival

1) Cobertos vegetais (espontâneos ou semeados)

A manutenção de coberto vegetal (permanente ou sazonal) é uma das práticas mais relevantes em olival mediterrânico. Atua por várias vias:

- Aumenta a produção de biomassa (entradas de carbono);
- Reduz a erosão e o transporte de sedimentos ricos em carbono;

¹⁸ Fernández-Soler et al. (2024), *Cover crops improve the long-term stabilization of soil organic carbon in Mediterranean olive orchards under semiarid conditions*, disponível em: [Wiley Online Library](#)

- Melhora infiltração e estrutura, reduzindo perdas por escorrência;
- Favorece biodiversidade e ciclos de nutrientes.

Um estudo recente sobre olivais no Alentejo, analisando intensificação e diferentes gestões do solo, reforça que a gestão do coberto/solo está diretamente ligada ao risco de erosão e à sustentabilidade do sistema – sendo a erosão um mecanismo crítico de perda de carbono e fertilidade.¹⁹

Além do efeito sobre erosão, há evidência de que os cobertos contribuem para estabilização de SOC no longo prazo, dependendo do tipo de coberto, da gestão (roçagem/rolamento), e das condições edafoclimáticas.²⁰

Caso de estudo (Portugal – Trás-os-Montes / NE Portugal): trabalhos com cobertos leguminosos convertidos em *mulch* (corte e deposição na entrelinha) mostram potencial para melhorar a disponibilidade de azoto e reduzir necessidade de mobilização do solo, criando sinergia entre fertilidade e conservação do solo – relevante para estratégias regenerativas em olival tradicional e de sequeiro.²¹

Risco/condição de sucesso: em anos muito secos, cobertos mal geridos podem competir por água; por isso, a prática deve ser ajustada (espécies, janela de corte, gestão por roçagem/rolamento) e articulada com rega deficitária quando aplicável.

2) Gestão de podas: triturar e devolver ao solo (em vez de queimar)

A poda anual/bi-anual gera quantidades relevantes de biomassa lenhosa. A agricultura regenerativa promove a trituração e incorporação/depósito superficial

¹⁹ Rodríguez Sousa et al. (2023), *Impacts of agricultural intensification on soil erosion and sustainability of olive groves in Alentejo (Portugal)*, *Landscape Ecology*, disponível em: [DOI](#)

²⁰ Fernández-Soler et al. (2024).

²¹ Rodrigues et al. (2013), *Soil nitrogen availability in olive orchards after mulching legume cover crop residues*, *Scientia Horticulturae*, disponível em: [IPB](#).

dos resíduos, substituindo práticas de queima, que libertam CO₂ e eliminam matéria orgânica potencialmente estabilizável.

Estudos clássicos e recentes no olival mostram que o uso de resíduos de poda como cobertura/*mulch* aumenta matéria orgânica e melhora propriedades do solo. Um trabalho de referência demonstrou aumentos relevantes de matéria orgânica do solo quando resíduos de poda foram geridos como cobertura, com melhoria observável em camadas superficiais e manutenção do efeito até 0–20 cm.²²

Um estudo posterior analisou especificamente como diferentes opções (queima vs trituração e incorporação) influenciam dinâmicas de carbono e azoto no solo, reforçando que a gestão de podas tem implicações diretas no balanço de carbono do olival.²³

Evidências mais recente: trabalhos de 2024 reforçam que a combinação de cobertos vegetais + adição de resíduos de poda é particularmente eficaz para aumentar SOC em comparação com gestão baseada em mobilização.²⁴

3) Mobilização mínima / não mobilização (*no-till*) e conservação do solo

A mobilização frequente acelera a decomposição da matéria orgânica, quebra agregados e aumenta a vulnerabilidade à erosão. Em olival mediterrânico, transitar para mobilização mínima (ou não mobilização) com gestão do coberto

²² Navarro Navajas et al. (2012), *Impacts of irrigation network sectoring as an energy saving measure on olive grove production*, *Journal of Environmental Management*, disponível em: [ScienceDirect](#).

²³ Baccour et al. (2016), *Energy efficiency in olive irrigation systems under Mediterranean conditions*, *Matériaux & Techniques*, disponível em: [ScienceDirect](#).

²⁴ Repullo-Ruibérriz de Torres et al. (2024), *Carbon sequestration through groundcovers and pruning residues in sustainable olive orchards under different edaphoclimatic conditions*, *Agriculture*, disponível em: [MDPI](#).

por métodos mecânicos leves ou estratégias integradas pode reduzir perdas de carbono e melhorar a estabilidade do solo.

Uma síntese técnica sobre sustentabilidade de olivais de alta densidade destaca que sistemas com não mobilização + cobertos podem contribuir de forma material para sequestro de carbono, citando valores de sequestro na ordem de grandeza de $\sim 1,2-1,3 \text{ t C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em determinados contextos, quando combinados com cobertos e gestão conservacionista.

Complementarmente, um estudo sobre *nature-based climate solutions* (NbCS) em olivais (gradiente de entradas de carbono) mostrou que olivais com práticas regenerativas podem passar de balanços médios negativos de carbono no solo (perda de SOC) para balanços positivos, com valores reportados de $+1,48 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em olivais com NbCS, salientando o potencial de mitigação e o interesse económico associado.

4) Integração de pastoreio/*grazing* como gestão do coberto (circularidade)

A integração de pastoreio (ovinos/caprinos) pode ser uma abordagem regenerativa relevante, sobretudo em sequeiro: controla o coberto, reduz necessidade de operações mecanizadas (menos gasóleo) e promove ciclagem de nutrientes. Uma dissertação/estudo aplicado em olival de sequeiro analisou gestão do solo via pastoreio e reportou diferenças em carbono total do solo entre modalidades, sugerindo que o desenho do sistema pode apoiar objetivos de conservação e potencialmente SOC (dependendo de carga animal, períodos e condições locais).

Condições de sucesso: evitar compactação excessiva, gerir cargas e períodos, proteger linhas de água e integrar com coberto e fertilização orgânica.

5) Matéria orgânica estabilizada: compostos e emendas (economia circular)

A incorporação de composto (por exemplo, a partir de subprodutos agrícolas) pode aumentar SOC e melhorar estrutura e retenção de água, além de reduzir dependência de fertilizantes minerais. No olival, esta via é particularmente interessante quando ligada a economia circular (compostagem de biomassa local, eventualmente integrando restos vegetais e subprodutos).

A evidência no olival indica que estratégias combinadas de gestão sustentável do solo (incluindo cobertos e emendas orgânicas) contribuem para estabilização de SOC e serviços do ecossistema.

Aplicação das práticas nos diferentes regimes

A adoção destas práticas deve, contudo, ser ajustada às características dos diferentes regimes de produção do olival — tradicional, em copa e em sebe — sob pena de comprometer a viabilidade económica ou agrónómica dos sistemas. No âmbito de um Roteiro de Descarbonização, é precisamente esta adaptação diferenciada que permite transformar a agricultura regenerativa num instrumento credível de mitigação climática.

➤ Agricultura regenerativa no olival tradicional

No caso do olival tradicional, frequentemente constituído por árvores com várias décadas ou mesmo séculos de existência, importa distinguir entre o elevado stock de carbono já armazenado e o potencial de sequestro adicional anual. Estes sistemas apresentam quantidades significativas de carbono acumulado na biomassa lenhosa e no sistema radicular, bem como, em muitos casos, no solo, desempenhando um papel relevante como reservatórios de carbono de longo prazo. No entanto, tratando-se de sistemas maduros, com taxas de crescimento

reduzidas, o seu contributo para a descarbonização resulta menos do incremento anual de carbono e mais da conservação do carbono existente e da prevenção de perdas, nomeadamente por erosão do solo, queima de resíduos vegetais ou degradação estrutural associada a práticas inadequadas de mobilização. Ainda assim, subsiste um potencial moderado de sequestro adicional ao nível do solo, passível de ser mobilizado através da adoção de práticas de agricultura regenerativa, como a manutenção de cobertos vegetais, a devolução das podas trituradas ao solo e a redução da perturbação física do solo.

O olival tradicional, maioritariamente de sequeiro e com baixas densidades de plantação, apresenta frequentemente práticas que, ainda que não intencionalmente, se aproximam dos princípios regenerativos. A menor intensidade de mecanização, a presença de coberto vegetal espontâneo e a menor utilização de fertilizantes minerais fazem com que muitos destes sistemas apresentem níveis de perturbação do solo relativamente reduzidos.

No entanto, estes olivais enfrentam desafios estruturais relevantes, nomeadamente baixa produtividade, envelhecimento das explorações e elevada vulnerabilidade à erosão, sobretudo em áreas de declive e solos pouco profundos. Assim, o principal objetivo da agricultura regenerativa neste regime não é tanto maximizar novos fluxos de carbono, mas preservar o carbono existente e evitar perdas.

Práticas regenerativas prioritárias

No olival tradicional, as práticas com maior relação custo-benefício incluem:

- Gestão do coberto vegetal espontâneo, evitando mobilizações frequentes e adotando roçagem mecânica ou pastoreio controlado;

- Eliminação da queima de resíduos de poda, promovendo a trituração e deposição superficial da biomassa;
- Integração de pastoreio extensivo, quando compatível, como forma de controlo do coberto e reciclagem de nutrientes;
- Correções orgânicas pontuais (estrumes compostados ou corretivos orgânicos), sempre que disponíveis localmente.

Contributo para a descarbonização

Neste regime, o contributo para a descarbonização resulta sobretudo da redução de emissões evitadas (menos gasóleo, menos fertilizantes) e da proteção do stock de carbono do solo, nomeadamente pela redução da erosão. A agricultura regenerativa atua aqui como um instrumento de conservação climática, garantindo estabilidade de longo prazo dos ecossistemas oleícolas tradicionais.

➤ **Agricultura regenerativa no olival em copa**

Caracterização e potencial

O olival em vaso, com densidades intermédias e recurso sistemático ao regadio, representa atualmente um segmento-chave para a transição climática do setor, uma vez que combina escala produtiva com capacidade técnica e económica para adotar práticas inovadoras. Ao mesmo tempo, estes sistemas apresentam maior pressão sobre o solo e maior dependência de insumos externos, o que aumenta a margem de melhoria.

Práticas regenerativas estruturantes

Neste regime, a agricultura regenerativa deve ser integrada de forma planeada e tecnicamente suportada, destacando-se:

- Cobertos vegetais semeados ou espontâneos, selecionados em função do solo e da disponibilidade hídrica, com gestão adaptativa;
- Mobilização mínima ou nula, associada a controlo mecânico do coberto;
- Devolução sistemática das podas trituradas ao solo, aumentando entradas anuais de carbono;
- Fertirrega de precisão, reduzindo a dependência de fertilizantes azotados de síntese;
- Monitorização periódica do carbono orgânico do solo, como indicador de desempenho - climático.

Contributo para a descarbonização

O olival em vaso apresenta um elevado potencial de sequestro adicional de carbono, sobretudo quando se passa de sistemas baseados em mobilização frequente para sistemas com cobertos permanentes. Estudos indicam que a combinação de cobertos vegetais e resíduos de poda pode transformar sistemas com balanços de carbono neutros ou negativos em sumidouros líquidos de carbono, contribuindo simultaneamente para a melhoria da estrutura do solo e da eficiência do uso da água.

➤ **Agricultura regenerativa no olival em sebe**

O olival em sebe, ou em sebe, caracteriza-se por elevadíssimas densidades de plantação, elevada mecanização e dependência total do regadio. Durante vários anos, estes sistemas foram considerados incompatíveis com abordagens regenerativas. Contudo, evidência científica recente demonstra que, quando corretamente geridos, podem apresentar elevados níveis de sequestro de carbono por hectare, devido à elevada produção anual de biomassa.

Os principais riscos neste regime são a compactação do solo, a perda de biodiversidade, a competição hídrica entre coberto e cultura e a degradação estrutural associada ao tráfego intenso de maquinaria.

Práticas regenerativas adaptadas

Num contexto de olival em sebe, a agricultura regenerativa exige gestão altamente tecnificada, incluindo:

- Cobertos vegetais de baixo porte, compatíveis com a colheita mecanizada;
- Gestão rigorosa do tráfego agrícola, com faixas permanentes;
- Ausência de mobilização do solo, privilegiando cobertura morta;
- Devolução integral da biomassa de poda triturada;
- Integração com rega de precisão, assegurando que o coberto não compromete a disponibilidade hídrica.

Contributo para a descarbonização

Quando bem implementadas, estas práticas permitem converter a intensidade produtiva em intensidade regenerativa, fazendo do olival em sebe um sistema com elevada eficiência carbónica por unidade de área e por unidade de produto, alinhado com metas de neutralidade carbónica.

Mitigação e Sequestro

Na adoção das práticas de agricultura regenerativa no olival, importa distinguir em que consiste a mitigação direta e a remoção (ou sequestro).

Mitigação Direta

A mitigação direta diz respeito a redução das emissões:

- Utilização de menos gasóleo;

- Menor mobilização do solo;
- Menor aplicação de fertilizantes minerais;
- Otimização das operações.

Remoção / Sequestro

A remoção / sequestro consiste em aumentar stock de Co2 no solo/biomassa e manter esse stock no tempo, o que exige:

- Monitorização (SOC em profundidade e ao longo do tempo);
- Definição de linha de base;
- Controlo de reversibilidade (risco de perda por erosão, incêndios, mudança de gestão).

Monitorização, reporte e verificação (MRV)

Para credibilizar o sequestro no setor, recomenda-se um sistema MRV com:

- Amostragem de SOC por camadas (ex.: 0–10, 10–30 cm, e quando aplicável mais profundo);
- Repetição temporal (3–5 anos);
- Registos de gestão (coberto, operações, entradas de biomassa);
- Modelos de suporte (ex.: fatores por tipo de prática), quando a amostragem total é impraticável.

Esta lógica é consistente com a necessidade de quantificar oportunidades de remoção de CO₂ em olivais e identificar condições regionais para escalar práticas.

Recomendações operacionais de medidas e indicadores

Medidas prioritárias (exemplos):

- Solo coberto (espontâneo/semado) com gestão adaptativa (roçagem/rolamento);
- Proibir/evitar queima de podas; promover trituração e devolução ao solo;
- Reduzir mobilização (mínimo/no-till) sempre que tecnicamente viável;
- Promover pastoreio controlado onde adequado (principalmente sequeiro);
- Aumentar entradas de matéria orgânica estabilizada (composto local, circularidade).

Indicadores propostos

- SOC (t C/ha) e/ou % matéria orgânica por camada;
- % de solo coberto ao longo do ano;
- Taxa/indicadores de erosão (quando monitorável);
- Biomassa devolvida (t/ha/ano) via podas/composto/coberto;
- Consumo de gásóleo (L/ha) associado a operações de mobilização;
- Produtividade (kg azeitona/ha) e intensidade carbónica (kg CO₂eq/kg).

Casos de Estudo

Caso de estudo: agricultura regenerativa e balanço de carbono em olivais mediterrânicos

Um exemplo particularmente relevante é o estudo conduzido por Torrús-Castillo *et al.* (2023), que analisou o balanço de carbono em olivais mediterrânicos ao longo de um gradiente de práticas de gestão do solo. Os autores demonstraram que sistemas convencionais, baseados em mobilização frequente, apresentavam balanços negativos de carbono no solo, enquanto olivais geridos com cobertos vegetais permanentes, ausência de mobilização e reciclagem de resíduos de poda

apresentavam balanços positivos, com valores de sequestro da ordem de +1,4 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹.

Estes resultados confirmam que a agricultura regenerativa, quando aplicada de forma consistente, pode transformar o olival num instrumento efetivo de mitigação climática, com benefícios adicionais ao nível da conservação do solo, da biodiversidade e da resiliência produtiva.

Casos de estudo e programas com enfoque em mitigação climática

- OLIVE4CLIMATE (LIFE – UE)

O projeto OLIVE4CLIMATE (programa LIFE) desenvolveu uma abordagem integrada para a produção de azeite com foco na pegada de carbono e em medidas de mitigação ao longo da cadeia. Apesar de não ser exclusivamente “solo”, o projeto incorpora e sistematiza práticas agrónomicas com interesse para agricultura regenerativa (gestão do coberto, solos, e melhoria do balanço de carbono), apoiando a operacionalização de medidas e a sua comunicação.

Conclusão

A agricultura regenerativa constitui um eixo estratégico transversal ao Roteiro de Descarbonização do setor oleícola, aplicável aos três regimes de produção, ainda que com objetivos, práticas e níveis de complexidade distintos. A sua integração permite combinar redução de emissões, sequestro de carbono e adaptação climática, reforçando simultaneamente a sustentabilidade económica e ambiental do setor.

4.1.3 Redução do Uso de Fertilizantes Sintéticos e Fitofármacos

A redução do uso de fertilizantes sintéticos e pesticidas constitui uma das linhas de ação mais relevantes para a descarbonização do setor oleícola, por atuar diretamente sobre alguns dos principais “hotspots” ambientais da fase agrícola. Em termos climáticos, os fertilizantes azotados assumem particular importância por duas vias complementares: (i) emissões a montante associadas à sua produção industrial (energia e matérias-primas), e (ii) emissões diretas e indiretas no campo, sobretudo de óxido nitroso (N_2O), um gás com elevado potencial de aquecimento global

Em Portugal, a literatura de Avaliação do Ciclo de Vida (LCA) aplicada ao olival reforça que as práticas agrícolas – incluindo fertilização e controlo fitossanitário – têm peso significativo em várias categorias de impacto ambiental e permitem identificar oportunidades de melhoria por tipologia de sistema (tradicional, em copa e em sebe). Em particular, o estudo de Sales *et al.* (2022) compara sistemas tradicionais, em copa e em sebe e evidencia a relevância de otimizar operações e insumos como parte de uma estratégia setorial de melhoria de desempenho ambiental.

No que respeita a pesticidas, embora a sua contribuição direta para emissões de GEE seja frequentemente inferior à dos fertilizantes (em termos de “kg CO₂e”), a redução do uso de produtos fitofarmacêuticos é crucial para: minimizar impactos em biodiversidade e serviços do ecossistema (polinizadores, inimigos naturais, fauna edáfica); reduzir riscos de contaminação de solo e água; diminuir dependências tecnológicas e económicas e melhorar a aceitação social e o valor de mercado (especialmente em segmentos premium, biológicos e de *terroir*).

Em Portugal, o Plano de Ação Nacional para o Uso Sustentável de Produtos Fitofarmacêuticos (PANUSPF) enquadra a adoção de práticas de gestão integrada de pragas e tecnologias de precisão como instrumentos para tornar a proteção das culturas mais eficiente e com menor impacto.

No âmbito da redução do uso de fertilizantes sintéticos e pesticidas, o Roteiro considera assim duas metas importantes que se complementam:

- Mitigação de emissões (redução): menos fertilizante mineral e menos aplicações fitossanitárias desnecessárias → menos emissões diretas e indiretas e menor consumo de energia.

- Melhoria do funcionamento do agroecossistema (substituição): substituir parte do “controlo químico” por gestão do solo, biodiversidade funcional, monitorização e decisão apoiada em dados, reforçando resiliência a pragas/doenças e a eventos climáticos extremos.

Fertilizantes sintéticos: por que são um hotspot climático no olival

Emissões associadas ao azoto (N)

A fertilização azotada influencia o balanço de carbono do setor de forma desproporcional face ao volume aplicado. No campo, uma fração do azoto aplicado (mineral ou orgânico) pode ser transformada por processos microbianos (nitrificação/desnitrificação) gerando N₂O. Uma meta-análise focada em sistemas mediterrânicos aponta que os fatores de emissão variam com o regime hídrico e a forma de gestão, e propõe valores regionais mais ajustados do que médias globais; por exemplo, sistemas com rega por gota-a-gota tendem a apresentar fatores médios mais baixos do que regas por aspersão, sublinhando a importância da gestão conjunta água-azoto.

Além do N₂O, a fertilização excessiva (ou mal sincronizada) aumenta perdas por lixiviação, volatilização e escoamento, com impactos em eutrofização e qualidade da água, e pode comprometer a eficiência económica da exploração (custo do fertilizante vs resposta em produtividade/qualidade).

Particularidades do olival

O olival – especialmente em sequeiro tradicional – pode ter necessidades azotadas mais moderadas do que culturas anuais intensivas, sendo frequente existirem margens para otimização de doses e calendário sem penalizar produtividade (quando a fertilização é baseada em “regras fixas” e não em diagnóstico). No regadio copa/sebe, a fertirrega permite maior controlo, mas o risco de *over-fertigation* existe se não houver indicadores (análises, sensores, monitorização de vigor e produtividade).

Boas práticas de redução de fertilizantes sintéticos (medidas-chave)

No âmbito do Roteiro de Descarbonização, as medidas mais consistentes combinam redução, substituição e eficiência:

a) Diagnóstico e recomendação baseada em dados:

- Análises de solo (fertilidade, matéria orgânica, pH, P, K, micronutrientes);
- Análises foliares (estado nutricional);
- Histórico de produtividade e exportação de nutrientes;
- Mapas de vigor/produtividade (quando disponíveis).

Objetivo: reduzir a aplicação “por hábito” e aproximar a dose à necessidade real.

b) Sincronização e fracionamento das aplicações

Em regadio, fracionar doses em fertirrega alinhadas com fases fenológicas reduz excedentes e perdas; em sequeiro, ajustar janelas de aplicação para minimizar risco de perda e maximizar absorção.

c) Agricultura de precisão e taxa variável

A aplicação variável (N e outros nutrientes) com base em mapas de vigor ou zonas de manejo permite reduzir dose total sem reduzir produção, sobretudo em explorações médias/grandes. Esta medida é particularmente relevante em copa/sebe.

d) Substituição parcial por fontes orgânicas e circularidade

Compostos orgânicos estabilizados, estrumes compostados, ou emendas provenientes de subprodutos (quando tecnicamente seguros e bem maturados) podem substituir parte do N mineral, melhorar SOC e estrutura do solo e aumentar retenção de água (benefício de adaptação). Um exemplo de investigação em olival de sequeiro com solos pobres avaliou fertilização inorgânica versus emendas (incluindo estrume e materiais residuais), mostrando efeitos diferenciados na produtividade e evidenciando o interesse em estratégias alternativas ao N mineral “padrão”.

e) Cobertos vegetais e leguminosas: reduzir necessidade de N de síntese

A integração de leguminosas como coberto pode fornecer azoto biologicamente fixado e aumentar a atividade biológica do solo. Contudo, os resultados dependem da espécie, do clima e da gestão. Um estudo realizado em dois olivais no nordeste de Portugal avaliou cobertos leguminosos convertidos em *mulch* e o seu efeito na disponibilidade de N; os autores discutem vantagens e limitações, reforçando que

a estratégia pode contribuir para fertilidade, mas requer planeamento para ser sustentável

f) Inibidores de nitrificação e formulações de libertação controlada (quando aplicável)

Podem reduzir picos de N₂O e perdas, sobretudo em situações de maior humidade/rega; no entanto, a decisão deve ser caso a caso, considerando custo, regulamentação e evidência local.

3) Pesticidas no olival: impacto, dependências e alternativas eficazes

Por que reduzir pesticidas é relevante no Roteiro de Descarbonização

A redução de pesticidas é central por motivos ambientais e de resiliência:

- Proteção de inimigos naturais e serviços de controlo biológico;
- Prevenção de resistências;
- Menor risco de resíduos;
- Menor dependência de insumos e de operações mecanizadas (pulverizações → gásóleo/energia);
- Melhor alinhamento com exigências de mercado e políticas públicas.

O enquadramento nacional (PANUSPF) reforça precisamente a necessidade de combinar proteção fitossanitária com minimização de impactos e aposta em gestão integrada e tecnologia.

Principais alvos fitossanitários e a lógica de gestão integrada (IPM)

No olival mediterrânico, o controlo químico tradicional tende a concentrar-se em pragas como a mosca da azeitona (*Bactrocera oleae*) e, dependendo de

região/ano, outras pragas e doenças. A gestão integrada (IPM) assenta em quatro pilares:

- Prevenção (equilíbrio do ecossistema; gestão do solo e biodiversidade);
- Monitorização (armadilhas, observação, modelos e limiares);
- Decisão (intervir apenas quando necessário);
- Intervenção preferencialmente não-química, reservando fitofármacos para quando não há alternativas eficazes.

Em Portugal, existem orientações técnicas e documentação dedicada à proteção integrada da cultura da oliveira, alinhada com os princípios do PAN e com recomendações práticas para monitorização e decisão.

Alternativas e estratégias para reduzir pesticidas no olival

As soluções com maior relevância para incluem:

a) Monitorização e decisão por limiares

O ganho mais imediato costuma vir de “não aplicar por calendário”. A decisão baseada em armadilhas e observação reduz aplicações desnecessárias e custos.

b) Captura massiva e *attract-and-kill* (mosca da azeitona)

A literatura recente avalia técnicas sustentáveis de controlo da mosca com base em *attract-and-kill* e captura, discutindo eficácia em cenários de produção variável e a necessidade de combinar medidas consoante pressão da praga. Estas abordagens são particularmente interessantes para reduzir inseticidas de largo espectro e preservar auxiliares.

c) Biodiversidade funcional e paisagem agrícola

Um estudo da Universidade de Coimbra divulgou resultados que sugerem uma estratégia mais sustentável para reduzir a praga da mosca da azeitona, associando a dinâmica da praga à diversidade do agroecossistema e reforçando a relevância de abordagens que não dependam exclusivamente de inseticidas.

d) Produtos e métodos de menor impacto

Em alguns programas de controlo, formulações como iscos com substâncias ativas de menor impacto relativo (ex.: iscos com *spinosad*, conforme regimes e autorizações) e filmes de partículas (ex.: caulino, dependendo de objetivo e contexto) têm sido estudados como opções compatíveis com IPM, embora a sua adequação deva ser avaliada localmente (pressão da praga, clima, logística e custo).

e) Redução da deriva e otimização de pulverização

Quando a intervenção química é necessária, há margem para reduzir consumo e impacto por:

- Calibração de pulverizadores;
- Bicos adequados e redução de deriva;
- Velocidade e volume ajustados;
- Aplicação localizada (apenas em zonas com pressão);
- Registo digital e rastreabilidade.

Estas medidas reduzem produto aplicado e também energia/gasóleo por operação.

Diferenciação por regimes de produção: onde estão as maiores oportunidades

Olival tradicional (maioritariamente sequeiro)

Desafios: baixa produtividade, limitações de investimento, maior variabilidade anual e por vezes maior pressão de erosão/solo.

Oportunidades:

- Reduzir fertilização mineral por diagnóstico e cobertos leguminosos bem geridos;
- Aumentar ciclagem de nutrientes;
- IPM com armadilhas e captura massiva, reduzindo inseticidas;
- Valorizar biodiversidade e paisagem como ativos (incluindo mercado).

Mensagem-chave: aqui, a prioridade é evitar perdas (nutrientes e solo), reduzir operações e melhorar resiliência com baixo custo.

Olival em copa (rega e mecanização intermédia)

Oportunidades dominantes:

- Fertirrega otimizada e fracionada;
- Taxa variável e agricultura de precisão;
- Substituição parcial por compostos e circularidade;
- IPM com monitorização e intervenções dirigidas.

Mensagem-chave: o olival em copa é muitas vezes o regime onde se consegue a maior redução absoluta de fertilizante por hectare com menor risco produtivo, se houver boa monitorização.

Olival em sebe

Riscos: tendência a maior pressão de pragas/doenças devido à densidade, exigência de elevada regularidade produtiva e logística apertada.

Oportunidades:

- Alta capacidade de implementar tecnologia (sensores, DSS, mapas, registos digitais);
- Calibração avançada e pulverização eficiente;
- Gestão muito fina de água-azoto (reduzindo perdas e N₂O);
- Integração de estratégias de IPM com captura/iscagem e monitorização.

Mensagem-chave: no olival em sebe, a redução de insumos depende de governação técnica e dados, não tanto de “menos intensificação”, mas de “intensificação inteligente” (eficiência máxima).

Caso de estudo

Redução de fertilização azotada via cobertos leguminosos no NE de Portugal

Um dos casos mais relevantes em Portugal para discutir redução de fertilizantes sintéticos é o trabalho de Rodrigues *et al.* (2013), realizado em dois olivais no nordeste de Portugal, que avaliou a introdução de leguminosas como coberto e a sua conversão em *mulch*, com o objetivo de apoiar a disponibilidade de azoto e reduzir dependência de fertilização mineral. O estudo discute resultados ao nível de disponibilização de N no solo, evidenciando potencial, mas também limitações e requisitos de gestão para garantir sustentabilidade agrónómica. [ScienceDirect+2Biblioteca Digital IPB+2](#). Este caso demonstra que a substituição parcial do N sintético pode ser viável em certas condições; reforça a necessidade de planear espécies, corte e integração com o regime hídrico; uma ponte direta entre redução de fertilizante, melhoria do solo e mitigação (menos emissões associadas ao N).

Redução de inseticidas via métodos sustentáveis no controlo da mosca

No eixo fitossanitário, a combinação de captura massiva/*attract-and-kill*, monitorização e biodiversidade funcional é um caminho consistente com a literatura recente e com recomendações de gestão integrada, reduzindo a necessidade de pulverizações de inseticidas de largo espectro. Estudos recentes reforçam as condições em que estas técnicas funcionam e quando necessitam de combinação com outras medidas.

Medidas e Indicadores propostos

Medidas:

- Plano de fertilização baseado em diagnóstico (solo + folha + produtividade) e registo anual;
- Meta de redução gradual de N mineral (kg N/ha) por tipologia de sistema, com substituição parcial por cobertos/compostos onde aplicável;
- Fertirrega e fracionamento no regadio; taxa variável em explorações com escala;
- IPM obrigatório por defeito: monitorização + limiares + registo digital das decisões;
- Substituição progressiva de pulverizações calendarizadas por intervenções dirigidas e/ou métodos não-químicos (captura, iscos, medidas de biodiversidade);
- Formação e assistência técnica alinhadas com o PANUSPF (boas práticas e decisão).

Indicadores recomendados

- kg N mineral/ha/ano e kg N total/ha/ano;
- Produtividade (kg azeitona/ha; kg azeite/ha) e intensidade carbónica (kg CO₂e/kg);

- Número de aplicações fitofarmacêuticas/ano e quantidade de substância ativa (onde aplicável);
- % de área sob monitorização IPM e decisões por limiar;
- Presença de coberto vegetal (% de solo coberto; dias/ano);
- Consumo energético associado a operações (pulverizações e fertilização).

4.1.4 Agricultura de Precisão

A agricultura de precisão (AP) corresponde a um conjunto de tecnologias e métodos que permitem observar variabilidade espacial e temporal (solo-planta-clima), tomar decisões suportadas por dados e aplicar fatores de produção “na dose certa, no local certo e no momento certo”. No contexto do Roteiro de Descarbonização, a AP é particularmente relevante por atuar sobre vários *hotspots* da fase agrícola do azeite (energia, água, fertilização, fitofármacos e operações mecanizadas) e por reduzir a intensidade carbónica por kg de azeitona/azeite via eficiência de recursos e estabilidade produtiva.

Em termos de tecnologias avançadas, a AP no olival tem evoluído rapidamente com base em:

- Sensores remotos (satélite, UAV/drones, imagens multiespectrais/hiperespectrais) e indicadores como NDVI e outros índices de vigor/estado hídrico;
- Sensores de proximidade/IoT (humidade do solo, caudal/pressão, contadores de energia, clima local, sensores na planta) e telemetria;
- Sistemas de apoio à decisão (DSS) e modelos (água, stress, nutrição, risco fitossanitário);
- Aplicação a taxa variável (VRA/VRT) e automatização (fertilirrega setorial, pulverização dirigida, tráfego controlado);

- Integração com gestão digital e rastreabilidade (incluindo abordagens “Indústria 4.0” ao longo da fileira).

Onde é usada no setor do azeite e que processos impacta

No olival, a AP está a ser aplicada, sobretudo, em quatro domínios operacionais:

Rega e energia (nexo água-energia)

A monitorização (solo/clima/vigor) e a setorização permitem ajustar dotações e calendarização, reduzir bombagens desnecessárias e melhorar eficiência. Em olival em sebe do Alentejo, estudos sobre adaptação climática da rega evidenciam a relevância de estratégias como rega deficitária regulada e gestão técnica para responder a cenários de maior pressão hídrica.

Fertilização e nutrição (redução de N e emissões associadas)

A definição de zonas de manejo, mapas de vigor e histórico de produtividade suportam fertilização diferenciada (incluindo fertirrega) e reduzem *over-application*, com efeito direto na redução de emissões indiretas e potencial redução de N₂O (quando se evitam excessos e se melhora sincronização). A lógica VRA é central na AP moderna.

Fitossanidade (pulverização otimizada e gestão integrada)

A AP permite tratamentos mais dirigidos (p.ex., zonas com maior risco/pressão), redução de número de passagens e menor volume aplicado. Existem estudos específicos sobre aplicação espacialmente variável de pesticidas em olival, discutindo como a pulverização baseada em indicadores reais contrasta com a aplicação constante e pode reduzir químicos libertados no ambiente.

Operações culturais e produtividade (mecanização eficiente)

A cartografia de parcelas, guiamento GNSS, controlo de tráfego e planeamento operacional reduzem tempos mortos e consumos de combustível. No plano mais avançado, há integração com robótica e IA no setor, em linha com a tendência “digital/4.0” em olivicultura.

Como contribui para a descarbonização (mecanismos “diretos” e “indiretos”)

- Redução direta de emissões: menos passagens mecanizadas (gasóleo), menos bombagem (eletricidade/diesel), menos aplicação de fertilizantes e pesticidas (emissões a montante e no campo).
- Redução da intensidade carbónica do produto: ao estabilizar e otimizar produtividade, diminui-se CO₂ e por kg de azeitona/azeite (mesmo quando emissões absolutas se mantêm).
- Co-benefícios de adaptação: melhor resposta a secas e ondas de calor (rega mais inteligente), menor risco de degradação do solo e melhor eficiência do uso da água.
- Suporte a MRV (monitorização, reporte e verificação): dados digitais facilitam comprovar reduções de inputs e práticas (por exemplo, para programas de sustentabilidade e carbono).

Abordagem por regime de cultivo

a) Olival tradicional (frequentemente sequeiro, mosaico e minifúndio)

- Objetivo realista: introduzir AP com baixo custo e alto retorno operacional, sem exigir grande capital ou infraestruturas complexas.

Tecnologias e usos mais adequados:

- Cartografia digital e registo de operações (apps simples; cadernos de campo digitais);
- UAV/NDVI e satélite via serviços partilhados (cooperativas/associações), para:
 - Detetar falhas, heterogeneidade de vigor e stress;
 - Apoiar decisões de adubação localizada e intervenções pontuais.
- Monitorização fitossanitária mais sistemática (armadilhas + registo digital), reduzindo tratamentos “por calendário”.

Contributo para descarbonização:

Sobretudo na redução de operações e insumos desnecessários e melhor planeamento; ganhos absolutos podem ser menores do que em regadio, mas o custo/benefício pode ser muito favorável.

Evidência/caso de aplicabilidade:

Um estudo aplicado com UAV/NDVI em explorações mediterrânicas na fronteira luso-espanhola concluiu que, para explorações pequenas a médias, os custos podem ser ultrapassados pelos ganhos económicos e ambientais associados à redução de água e fertilizantes (incluindo aplicação diferenciada).

b) Olival em copa (rega e mecanização intermédia)

- Objetivo realista: maximizar eficiência do nexo água-energia-nutrientes e reduzir fitofármacos via decisão baseada em risco.

Tecnologias e usos mais impactantes:

- Telemetria de rega (pressão/caudal/energia) e sondas de humidade;
- Setorização e programação com DSS;
- Fertirrega “de precisão” (fracionamento + ajuste por zonas de vigor e análises);

- Pulverização otimizada (calibração, redução de deriva, eventual aplicação dirigida por zonas).

Contributo para descarbonização:

- Potencial elevado por reduzir eletricidade de bombagem e fertilizantes, dois grandes contribuintes no perfil de emissões agrícolas (diretas e indiretas);
- A digitalização cria base para indicadores do Roteiro (kWh/ha, m³/ha, kg N/ha, n^o de passagens/ha);

Vários estudos, como o “Precision oliviculture: Research Topics, Challenges, and Opportunities” destacam o papel de sensores remotos e integração de dados para orientar decisões agronómicas em olival.

3) Olival sem sebe (em sebe; elevada tecnificação e dependência do regadio)

- Objetivo realista: operar num modelo “high-tech” com otimização contínua, onde pequenas melhorias percentuais geram grande impacto absoluto.

Tecnologias e usos mais avançados:

- Automação e controlo fino da fertirrega por setores, com feedback (solo-planta-clima);
- Mapas de vigor de alta resolução (UAV, eventualmente SAR/satélite) para zonamento e monitorização frequente;
- Gestão de tráfego e operações com GNSS e planeamento para reduzir compactação e consumo;
- Integração com plataformas digitais (gestão, rastreabilidade, indicadores ESG).

Contributo para descarbonização:

- Maior potencial absoluto por hectare, pela escala de consumo de água/energia e pela capacidade de reduzir desperdícios;
- Forte ligação à adaptação climática (gestão de rega sob cenários futuros), como discutido em estudos de rega em olival em sebe no Alentejo;
- Possibilidade de reduzir químicos com pulverização inteligente, conforme literatura sobre aplicação variável.

Análise SWOT da adoção de agricultura de precisão no olival

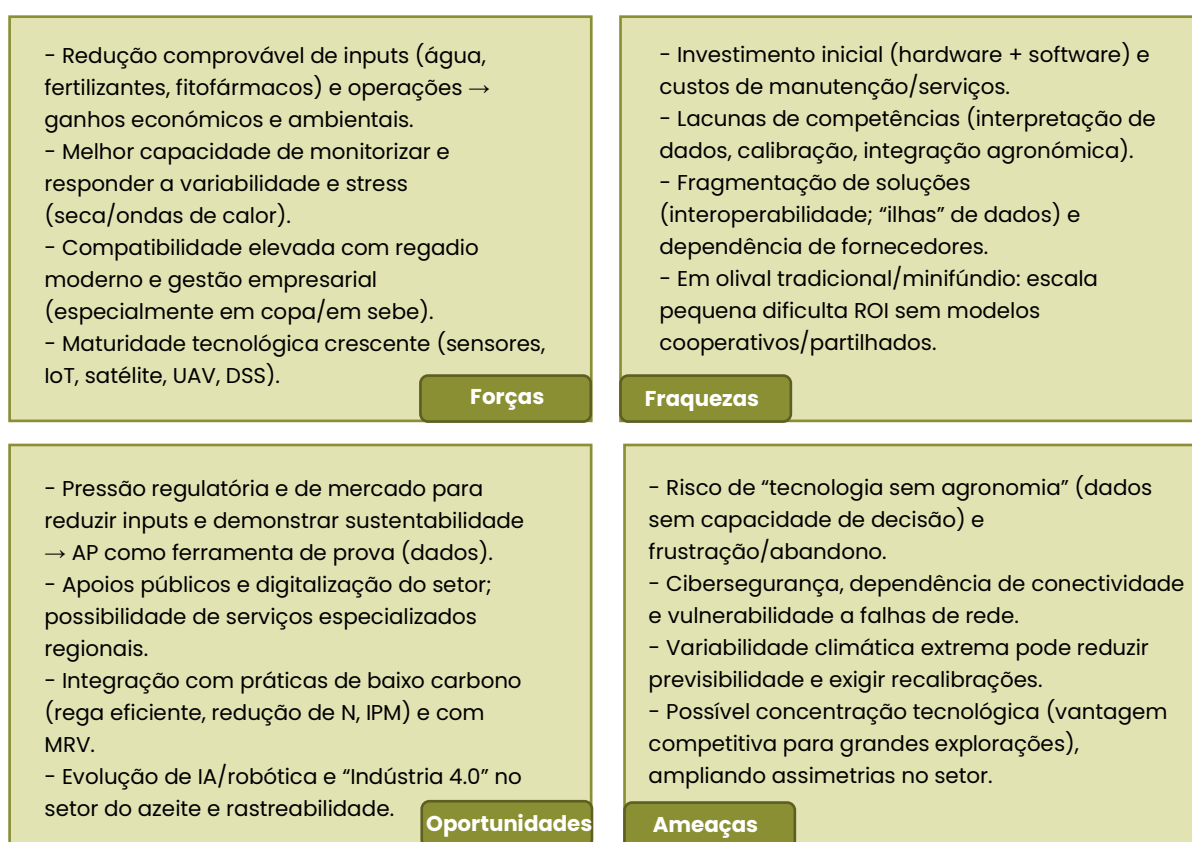


Figura 15 - Análise SWOT da adoção de agricultura de precisão no olival

Fonte: Elaboração própria.

Casos de estudo

Portugal/Espanha – aplicabilidade a pequenas e médias explorações): UAV + NDVI para decisões diferenciadas.

O trabalho aplicado disponível no repositório RCAAP avalia a utilização de UAV/ RPAS e NDVI em três explorações mediterrânicas na fronteira Portugal-Espanha, considerando falhas de sementeira, rega diferenciada e fertilização diferenciada. O estudo demonstra, através de casos reais na Península Ibérica, que a aplicação de drones e NDVI em pequenas explorações agrícolas, incluindo olivais, permite ganhos económicos superiores aos custos, reduzindo simultaneamente o consumo de água e fertilizantes, o que comprova a viabilidade da agricultura de precisão como ferramenta de descarbonização e sustentabilidade no setor oleícola, mesmo em explorações de menor dimensão.

4.1.5 Mecanização Eficiente no Olival

Enquadramento: por que a mecanização é um eixo crítico de descarbonização?

A mecanização é um dos principais determinantes do consumo energético direto na fase agrícola do olival, sobretudo pelo uso de gasóleo em operações como controlo do coberto/mobilização do solo, pulverizações, fertilizações, poda, transporte interno e colheita. Nos sistemas em copa e em sebe, onde o número de operações e a escala de produção são maiores, pequenas melhorias na eficiência traduzem-se rapidamente em reduções relevantes de consumo (L/ha e L/t) e de emissões associadas.

No contexto do Roteiro de Descarbonização, “mecanização eficiente” não significa reduzir mecanização a qualquer custo; significa fazer as operações necessárias com o menor consumo energético e o menor impacto no solo e no ecossistema, mantendo produtividade, qualidade e segurança. Este princípio é coerente com a evidência de estudos de sustentabilidade e Avaliação do Ciclo de Vida (LCA) em olivais portugueses, que destacam o peso das práticas agrícolas (incluindo

operações mecanizadas e insumos) na pegada ambiental e defendem a otimização de práticas como via prioritária de mitigação.

O que é “mecanização eficiente” na prática

Para um produtor, a mecanização eficiente pode ser resumida em quatro perguntas operacionais:

- Esta operação é mesmo necessária?
- Pode ser feita com menos passagens?
- O trator/equipamento é adequado (potência, peso, regulação)?
- Estou a trabalhar no regime certo (velocidade, rotações, planeamento)?

Muitas ineficiências vêm de hábitos: mobilizações repetidas “porque sempre se fez assim”, pulverizações por calendário, tratores demasiado potentes para tarefas leves, falta de calibração e manutenção, e logística pouco otimizada (tempos mortos, esperas, percursos desnecessários).

Principais alavancas técnicas da mecanização eficiente (e como estas contribuem para a redução de emissões)

- Dimensionamento do trator e *match* trator-implemento

Um trator sobredimensionado tende a consumir mais combustível por hora e operar fora do ponto ótimo de eficiência do motor.

A racionalização passa por:

- Adequar potência ao tipo de operação (ex.: roçagem/pulverização vs subsolagem/colheita);
- Privilegiar equipamentos mais leves quando possível;
- Escolher pneus/pressões adequadas (reduz patinagem e consumo).

Impacto na descarbonização: redução direta do consumo de gasóleo e menor compactação (menos necessidade de correções futuras).

- Redução do número de passagens e integração de operações

Cada passagem no campo é consumo de combustível + emissões + compactação.

Estratégias típicas:

- Substituir mobilizações frequentes por gestão do coberto (roçagem/rolamento) sempre que agronomicamente viável;
- Combinar operações quando possível (planeamento);
- Reduzir deslocações com base em registo/planeamento (rotas, janelas, logística).

Impacto na descarbonização: menos L/ha, menos horas de trator e menor intensidade carbónica do produto.

- Mobilização mínima / conservação do solo e controlo do tráfego

A mobilização intensiva aumenta consumo de combustível e degrada estrutura do solo, favorecendo erosão e perda de matéria orgânica. A transição para mobilização mínima (ou nula) tende a reduzir combustível e preservar o solo. A isto soma-se o controlo de tráfego (passar sempre nas mesmas faixas), que reduz compactação na zona radicular e pode diminuir necessidade de operações de correção. Evidência de sistemas de *controlled traffic farming* mostra melhorias em propriedades do solo e redução de operações em vários contextos agrícolas.

Impacto na descarbonização: menos consumo direto de gasóleo e menor risco de “emissões indiretas” associadas a degradação do solo e operações corretivas.

- Pulverização eficiente (calibração, redução de deriva e operações “apenas quando necessário”)

Embora o foco climático recaia sobretudo no gasóleo, a pulverização é frequentemente uma operação repetida e com margem de melhoria:

- Calibração do pulverizador (bicos, pressão, velocidade, volume);
- Aplicação em condições meteorológicas adequadas;
- Redução do número de aplicações com base em monitorização e gestão integrada.

Impacto na descarbonização: menos passagens, menos combustível, menor consumo de produto e melhor eficiência de operação.

- Poda mecanizada: reduzir custos e energia por unidade produzida

A poda é uma operação cara e intensiva em mão de obra e/ou maquinaria. Em Portugal, existem estudos de longo prazo em olivais de alta densidade que mostram que a poda mecânica pode reduzir custos e manter a produção quando bem ajustada ao sistema e à variedade (com gestão de copa adequada).

Impacto na descarbonização: menor tempo de máquina por hectare e maior eficiência operacional (menos horas e deslocações para obter o mesmo resultado produtivo).

- Colheita mecanizada: eficiência energética e logística

A colheita é um dos momentos de maior concentração de operações e energia. A literatura recente avalia desempenho e sustentabilidade de diferentes sistemas de colheita, integrando dimensões técnicas, económicas e ambientais. Nos sistemas em sebe, os equipamentos *over-the-row* (OTR) permitem colheita

contínua e redução drástica de mão de obra, sendo o desempenho (eficiência de derricha, danos, velocidade) objeto de avaliação científica e melhoria tecnológica.

Impacto na descarbonização: redução de consumo específico (L/t) por melhor logística e eficiência do sistema; e redução de tempos mortos (máquinas ligadas sem produzir).

Abordagem por regime de cultivo

Olival tradicional (muitas vezes sequeiro; parcelas pequenas; baixa mecanização)

Foco principal: “menos operações e melhor solo”, com investimento moderado:

- Reduzir mobilizações repetidas e privilegiar gestão de coberto;
- Utilizar tratores leves e bem dimensionados;
- Evitar deslocações desnecessárias (planeamento simples e registo);
- Pulverizar com critério (monitorização e calibração).

Ganhos típicos: menor gasóleo/ha e custos, com benefício adicional em erosão/estrutura do solo.

Olival em copa (rega; mecanização regular; capacidade de investimento média)

Foco: eficiência de operação e integração com gestão técnica:

- Otimização de rotas e calendários;
- Pulverização eficiente e redução de passagens;
- Adoção de mobilização mínima e tráfego planeado;
- Poda mecanizada quando compatível com variedade/arquitetura.

Ganhos típicos: redução relevante de L/ha e L/t e maior estabilidade de custos.

Olival em sebe (elevada mecanização; logística exigente)

Foco: maximizar eficiência por hectare e por tonelada:

- Colheita OTR otimizada (velocidade, derricha, perdas, manutenção);

- Controlo rigoroso do tráfego (evitar compactação crónica);
- Planeamento logístico campo–transporte–lagar;
- Poda mecanizada sistemática e ajustada ao sistema.

Ganhos típicos: elevada redução absoluta (pela escala), com efeito direto na intensidade carbónica do produto.

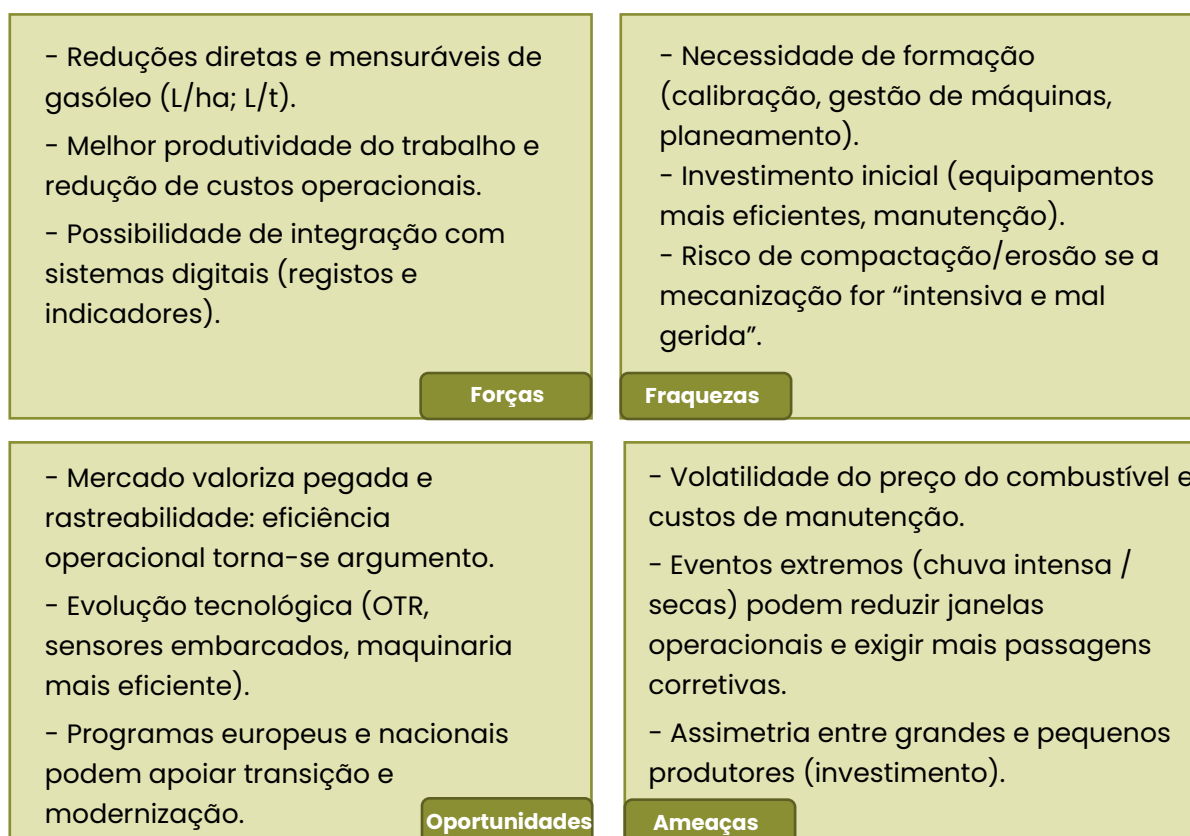


Figura 16 - Análise SWOT da mecanização eficiente no olival tendo em linha de conta a descarbonização dos processos

Fonte: Elaboração própria.

Casos de Estudo

Caso-estudo 1 – Portugal: poda mecânica e colheita em olivais em sebe (Évora/Santarém)

Em Portugal, estudos e ensaios em olivais de alta densidade analisaram a poda mecânica ao longo de vários anos, avaliando efeitos na produção e operacionalidade. Um artigo em Agronomy (2022) reporta resultados de longo

prazo e discute condições de aplicação (arquitetura da copa, gestão, consistência produtiva).

Em paralelo, um projeto divulgado pela EU CAP Network refere ensaios em olivais em sebe com variedades portuguesas (incluindo locais como Santarém e Évora) visando soluções de poda mecânica que controlem a copa e reduzam custos sem comprometer produção, o que é diretamente relevante para eficiência energética e económica.

Por que é que este estudo é exemplar para descarbonização através da mecanização eficiente: menos horas/máquina por hectare, operações mais rápidas e previsíveis, e redução do consumo específico por unidade produzida.

Caso-estudo 2 – Espanha: evolução tecnológica de colheita OTR e melhoria de eficiência

A investigação recente sobre colheita *over-the-row* em olival em sebe avalia desempenho operacional, danos e parâmetros de operação, apoiando recomendações para melhorar eficiência e reduzir perdas. Estes trabalhos suportam o desenho de “planos de colheita mecanizada” com melhor relação produtividade/energia e menor desperdício operacional.

Caso-estudo 3 – Mediterrâneo: sustentabilidade comparada de sistemas de colheita

Um estudo no *Science of the Total Environment* (2021) avaliou sustentabilidade de diferentes sistemas de colheita em olivais mediterrânicos, combinando dimensões técnicas, económicas e ambientais, e propôs uma abordagem modular para avaliar operações agrícolas.

Este tipo de enquadramento permite comparar soluções de mecanização não apenas por custo, mas também por indicadores ambientais e eficiência do processo.

7. Indicadores recomendados (para MRV no Roteiro)

Para tornar a mecanização eficiente “mensurável” e auditável, recomenda-se acompanhar:

- L/ha (gasóleo por hectare) por operação e anual;
- L/t (gasóleo por tonelada de azeitona);
- Nº de passagens/ha/ano (mobilização, pulverização, roçagem, transporte interno);
- Horas de máquina/ha e t/h (produtividade operacional);
- Indicadores de solo (compactação/erosão quando monitorável);
- Intensidade carbónica do produto (kg CO₂e/kg) quando articulado com inventários/LCA.

4.2 Transformação e Produção de Azeite

4.2.1 Eficiência Energética no Lagar

Nos lagares, a energia consumida é maioritariamente eletricidade (motores, bombas, centrífugas, refrigeração e climatização) e, em alguns casos, energia térmica (aquecimento de água/processo e climatização). A literatura técnica sobre energia em lagares e a experiência de auditorias/estudos setoriais mostram que a eficiência energética tem, em geral, duas vantagens simultâneas:

- Reduz emissões de GEE (menos kWh por tonelada processada, e menos picos de potência), e
- Reduz custos operacionais (eletricidade e manutenção), frequentemente com retornos rápidos.

Onde se gasta energia no lagar (perspetiva operacional):

- Linhas de extração (motores e acionamentos: transportadores, moenda, batedeiras/malaxadores, bombas, decanter e separadores);
- Bombagem (água, pasta, massas, transferências);
- Refrigeração e climatização (HVAC) (controlo térmico de salas, armazenamento, engarrafamento e, em alguns casos, apoio ao controlo de temperatura do processo);
- Ar comprimido (se existir, muitas vezes com perdas elevadas por fugas);
- Iluminação e consumos auxiliares.

Uma abordagem eficiente começa por medir e separar consumos por “centros de custo”: **linha, frio/HVAC, bombagem, ar comprimido, armazenamento e engarrafamento**, etc. (isto é essencial para perceber onde atuar primeiro).

➤ **Tecnologias e medidas de eficiência energética**

a) Variadores de velocidade (VFD/VSD) e controlo inteligente de motores

Um **variador de velocidade** permite que um motor não trabalhe sempre “a fundo” (velocidade fixa), ajustando a rotação à necessidade real. Em bombas e ventiladores isto é especialmente importante, porque reduzir a velocidade reduz muito a potência necessária.

Onde faz mais sentido no lagar:

- Bombas de transferência (pasta/água/azeite), especialmente quando há variabilidade de caudais;
- Ventilação e HVAC (ventiladores, torres, unidades de tratamento de ar);
- Bombas de circulação (circuitos de água, permutadores, etc.);
- Alguns acionamentos em transportadores onde há paragens/arranques frequentes.

Por que reduz custos e GEE:

A poupança vem de (i) trabalhar menos horas em carga alta e (ii) reduzir consumos em carga parcial. Revisões sobre tendências e políticas de eficiência energética apontam precisamente os VSD como tecnologia-chave para poupança em sistemas com carga variável.

Obstáculos típicos:

- Investimento inicial + necessidade de configuração correta;
- Necessidade de compatibilidade com o processo (evitar instabilidade de caudal/pressão);
- Harmónicas/*power quality* (em alguns casos exige filtragem e bom projeto elétrico).

b) Motores de alta eficiência (IE4 e IE5) e “packages” motor+drive

O que significa IE4 / IE5 (em termos práticos):

São classes de eficiência superiores para motores elétricos, com menores perdas. Em aplicações com muitas horas/ano, a diferença é relevante.

Onde faz mais sentido adotar estes motores:

- Em situações em que os motores que trabalham muitas horas na campanha (bombas principais, ventiladores, alguns acionamentos críticos);
- Substituições em fim de vida (troca “natural” com upgrade).

Benefícios esperados:

- Redução direta de kwh por hora de funcionamento;
- Menor aquecimento do motor → maior vida útil e menos falhas.

Evidência e mensagem de *payback*:

Análises de eficiência em sistemas de bombagem mostram diferenças mensuráveis entre classes de motores e cenários de controlo (por exemplo, estrangulamento vs controlo por variador), reforçando que **motor + controlo** deve ser visto como sistema.

Em comunicação técnica de fabricantes, existe também a ideia de *payback* curto de soluções IE5 + drive face a IE3 em certas aplicações (útil como referência técnica, mas deve ser validada caso a caso).

Obstáculos típicos:

- Custo inicial;
- Necessidade de especificação técnica correta (dimensão/serviço);
- Stock/assistência e compatibilidades com quadros existentes.

c) Eficiência na linha: moenda, malaxação e centrifugação (decanter + separador)

Aqui entra o “coração” do lagar. O potencial de eficiência não é só “meter motores melhores”; é também operar o equipamento no ponto ótimo (energia vs qualidade vs rendimento).

- **Moenda**

Boas práticas de eficiência:

- Manutenção (facas/martelos, folgas, crivos, rolamentos);
- Alimentação estável (evitar picos e “vazio”, que gera perdas e paragens);
- Adequação da rotação e do regime de trabalho ao tipo de azeitona.

Obstáculos: falta de instrumentação e tendência para operar “sempre igual” sem olhar para consumo específico.

- **Malaxação (batedura)**

É uma etapa sensível porque o controlo de temperatura e tempo afeta qualidade.

Eficiência aqui significa reduzir perdas de calor/frio, otimizar aquecimento/arrefecimento e reduzir tempos desnecessários mantendo objetivos de qualidade.

Um eixo inovador (mais “tecnológico”) é a melhoria da transferência de calor e redução de tempos de condicionamento, discutida em revisões sobre tecnologias físicas avançadas (ex.: micro-ondas como alternativa a processos convencionais em certos contextos), com ganhos de tempo e eficiência térmica – embora a aplicabilidade industrial dependa muito do tipo de unidade e do posicionamento de mercado (qualidade/estilo).

- **Decanter e separadores**

São normalmente grandes consumidores elétricos. Há investigação dedicada a **modelar e otimizar energia específica** e até a usar **sistemas de recuperação** (ex.: recuperação na fase de desaceleração/travagem). Estudos recentes analisam energia específica do decanter e condições ótimas de operação e recuperação. Além disso, há trabalhos sobre eficiência energética e de separação do decanter com capacidade de regulação de parâmetros, mostrando que “regular bem” pode melhorar eficiência do processo.

Medidas concretas no lagar:

- Medir **kWh/ton** (ou kWh/m³ de pasta processada) por etapa;
- Operar o decanter no envelope ótimo (caudais/diferenciais adequados);
- Evitar funcionamento “em vazio” e picos de arranque;
- Manutenção preditiva (vibração/temperatura, rolamentos).

Obstáculos:

- Dependência de fornecedores e parametrização;
- Aversão ao risco (medo de mexer em parâmetros por impacto na qualidade/rendimento);
- Necessidade de formação e dados.

d) Refrigeração e ar condicionado (HVAC): sim, é importante – e muitas vezes subestimado

Em muitos lagares, a energia “não óbvia” vem de frio e climatização (salas técnicas, engarrafamento, armazenamento e conforto). Mesmo quando não há

“frio de processo” direto, há necessidade de controlar temperatura/humidade em áreas sensíveis (rotulagem, embalagens, condensações).

Principais soluções:

- Equipamentos de refrigeração de alta eficiência (COP/EER superiores; variadores em compressores quando aplicável);
- Controlo por *setpoints* realistas (muitas vezes há *setpoints* demasiado exigentes);
- *Free-cooling* / ventilação natural quando possível (quando condições climáticas permitem), uma medida destacada em guias de boas práticas para lagares e edifícios industriais;
- Isolamento e estanqueidade (reduz cargas térmicas);
- Recuperação de calor (por exemplo, calor rejeitado de condensadores pode ser aproveitado para AQS/limpeza – quando faz sentido).

Monitorização recomendada:

- kWh do sistema HVAC (submeterização);
- temperatura/humidade por zona;
- tempos de funcionamento e ciclos.

Obstáculos:

- Sistemas antigos e sobredimensionados;
- Falta de manutenção (filtros, permutadores sujos);
- Ausência de submeterização (ninguém sabe quanto o HVAC consome).

e) Bombagem e redes: eficiência hidráulica

Mesmo com bons motores, uma rede mal dimensionada perde energia em:

- Perdas de carga;
- Válvulas estranguladas;
- Curvas e diâmetros inadequados;
- Filtros e permutadores sujos.

Soluções:

- Auditoria à rede (pressões/caudais reais);
- Substituição de válvulas de estrangulamento por controlo de velocidade (quando aplicável);
- Manutenção e limpeza programada.

f) Ar comprimido (se existir)

Muitas unidades têm ar comprimido para automação/atuadores. É um “buraco negro” clássico:

- Fugas;
- Pressões demasiado altas;
- Compressores ineficientes.

Soluções:

- Campanha de deteção de fugas;
- Redução de pressão;
- Variadores nos compressores (quando aplicável);
- Submeterização (kwh do compressor).

g) Gestão e monitorização: a “tecnologia invisível” que desbloqueia poupanças

Sem medição, o lagar melhora pouco. As medidas mais eficazes incluem:

- Submeterização por áreas (linha, HVAC, bombagem, engarrafamento);
- KPI: kwh/ton de azeitona e kwh/ton de azeite (e por etapa);
- Alarmes e análise de picos (arranques simultâneos, fator de potência);
- Manutenção preditiva: temperaturas, vibração, consumo anormal.

➤ **Obstáculos à adoção (o que trava na prática)**

1. Campanha sazonal: muitos equipamentos só trabalham intensamente alguns meses; o *payback* deve ser calculado com horas reais/ano.
2. Risco percebido na qualidade: receio de mexer em parâmetros do processo (malaxação/decanter).
3. *Capex* e financiamento: nem todos os lagares têm margem para investimento *upfront*.
4. Falta de dados/submeterização: não se sabe onde está o consumo.
5. Competências: é preciso alguém que saiba interpretar dados e implementar medidas.
6. Integração com equipamentos existentes: quadros antigos, compatibilidades elétricas, *space constraints*.

➤ **Benefícios esperados (GEE + custos)**

- Menos kWh/ton → menos emissões indiretas associadas à eletricidade (escopo 2).
- Menos picos de potência → potencial redução de custo contratado e penalizações.
- Menos paragens e falhas → menos perdas e menos custos de manutenção.
- Melhor controlo térmico → qualidade mais consistente (valor económico), além de eficiência.

➤ **Casos práticos (2), incluindo Portugal**

Caso prático 1 – Portugal (Alentejo / TESLA e trabalhos associados)

Há casos de estudo em Portugal e Espanha analisados no âmbito do projeto TESLA e trabalhos associados, com foco em consumo e eficiência energética em lagares, incluindo metodologias de auditoria e identificação de oportunidades de melhoria. Nestes estudos foi possível caracterizar consumos e identificar medidas com potencial de redução de kWh por tonelada processada, reforçando a utilidade de auditorias energéticas e submeterização por etapa do processo.

Caso prático 2 – Otimização energética do decanter (Itália / estudos experimentais)

Estudos recentes modelam e validam experimentalmente a energia específica do decanter, incluindo estratégias de operação e recuperação, mostrando que a otimização de parâmetros pode reduzir consumo específico e apoiar decisões de automação/controlo adaptativo. Estas medidas podem contribuir para ganhos relevantes sem comprometer objetivos de qualidade, desde que acompanhadas por monitorização e controlo adequados.

➤ **Quadro resumo comparativo: medidas e estimativas de redução**

As estimativas abaixo são ordens de grandeza típicas (intervalos) para orientação no contexto deste roteiro. O valor real depende do *baseline* do lagar, do mix de equipamentos e das horas/ano.

Medida (lagar)	Onde atua	Redução típica de energia	Impacto em GEE	Custos e qualidade	Obstáculos comuns
Variadores de velocidade (VFD/VSD) em bombas/ventiladores	Bombagem, HVAC	10–30% nesses consumos (dependente de variabilidade de carga)	↓ kWh → ↓ CO ₂ e (escopo 2)	Menos picos, menos desgaste	Capex, parametrização, qualidade de energia (ScienceDirect)
Substituição por motores IE4/IE5 (prioridade: alta utilização)	Motores críticos	2–8% no consumo desse motor/sistema (mais com drive)	↓ kWh	Menos avarias, menor aquecimento	Custo inicial, compatibilidade, planeamento de paragens (MDPI)
Otimização operatória do decanter (parâmetros/controlo)	Linha de extração	5–15% na energia do decanter (varia)	↓ kWh	Pode reduzir paragens e melhorar estabilidade	Receio de impactar qualidade/rendimento; necessidade de dados (ScienceDirect)
Melhorias HVAC (setpoints, manutenção, VSD, free-cooling)	Refrigeração/AC	10–25% no HVAC	↓ kWh	Melhor humidade/condensação em engarrafamento	Sistemas antigos, falta de submeterização (Live Blog Jornada TESLA)
Submeterização + KPI kWh/ton + alarmística	Gestão energética	5–15% global (por eliminar desperdícios e tempos mortos)	↓ kWh	Base para melhoria contínua e auditorias	Custo e disciplina de gestão; competências internas (RCAAP)
Manutenção preditiva (temperaturas, vibração, rolamentos)	Linha + motores	difícil quantificar , mas reduz falhas e consumo anormal	indireto	Menos paragens e custos de manutenção	Sensores e rotina de análise

Tabela 12 - Medidas e estimativas de redução de consumos energéticos no lagar

Fonte: Elaboração própria.

8) Medidas recomendadas por fase do processo no lagar (checklist)

Receção/limpeza

- Motores eficientes + controlo de velocidade em transportadores quando útil;
- Evitar funcionamento em vazio.

Moenda

- Manutenção + alimentação estável;
- Monitorização de consumo do motor da moenda (picos anormais indicam desgaste/entupimento).

Malaxação

- Isolamento térmico;
- Controlo de temperatura por *setpoints* realistas;
- Otimização de tempos (sem sacrificar qualidade);
- Avaliar tecnologias de transferência térmica mais eficiente quando aplicável.

Decanter + separador

- Otimização de parâmetros;
- Manutenção e monitorização;
- Considerar soluções tecnológicas de recuperação/controlo avançado quando justificável.

Armazenamento e engarrafamento

- HVAC eficiente, controlo de humidade/condensação;
- Ventilação natural/*free-cooling* quando possível;
- Submeterização.

Conclusão:

A eficiência energética nos lagares constitui uma medida estrutural de descarbonização, permitindo reduzir simultaneamente as emissões indiretas de gases com efeito de estufa e os custos operacionais, através da modernização tecnológica, da otimização dos processos e da gestão.

4.2.2 Energias Renováveis no Lagar

A integração de energias renováveis nos lagares constitui um dos pilares estruturantes da descarbonização da fase industrial do setor oleícola. Após a implementação de medidas de eficiência energética, a substituição progressiva de energia de origem fóssil por fontes renováveis permite reduzir de forma direta as emissões indiretas de GEE (Escopo 2), melhorar a autonomia energética das unidades industriais e estabilizar custos operacionais num contexto de elevada volatilidade dos preços da eletricidade.

Estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (LCA) aplicados ao azeite demonstram que a origem da eletricidade utilizada no lagar tem influência significativa na pegada carbónica do produto final, sendo a autoprodução renovável uma das medidas com maior potencial de redução de emissões (Salomone *et al.*, 2015; Rinaldi *et al.*, 2014).

a) Energia solar fotovoltaica (PV)

Aplicação no lagar

A energia fotovoltaica é atualmente a solução renovável mais madura e economicamente competitiva para lagares, devido a:

- Elevada disponibilidade solar em Portugal;
- Coincidência entre produção solar e período de laboração (campanha);
- Simplicidade tecnológica e baixos custos de manutenção.

Pode ser utilizada em:

- Autoconsumo direto (*on-grid*);
- Sistemas híbridos com baterias;

- Comunidades de energia (cooperativas).

Benefícios climáticos e económicos

- Redução direta das emissões associadas à eletricidade consumida;
- Redução da fatura energética entre 25% e 60%;
- *Payback* típico: 4–7 anos (dependendo do preço da eletricidade);
- Maior previsibilidade de custos.

Evidência científica

Estudos recentes confirmam que a integração de sistemas PV em agroindústrias reduz significativamente a pegada carbónica dos produtos e melhora o desempenho ambiental global (Notter *et al.*, 2015; Hernández *et al.*, 2022).

Obstáculos à adoção

- Investimento inicial;
- Limitação de espaço em cobertura;
- Licenciamento e ligação à rede;
- Necessidade de dimensionamento correto (perfil de carga sazonal).

b) Energia solar térmica

Aplicações no lagar

Embora menos difundida que o fotovoltaico, a energia solar térmica apresenta elevado potencial para:

- Aquecimento de água para:
 - Lavagem de equipamentos;
 - Higienização;
 - Processos auxiliares;

- Apoio à climatização (sistemas híbridos).

Vantagens

- Substitui energia elétrica ou gás para AQS;
- Eficiência elevada (60–80%);
- Tecnologia robusta.

Evidência científica

Trabalhos sobre integração de solar térmico em agroindústrias mostram reduções de consumo energético convencional na ordem dos **30–50%** para AQS (Kalogirou, 2014).

Limitações

- Menor flexibilidade face ao PV;
- Necessidade de acumulação térmica;
- Menor adaptação a perfis de carga irregulares.

c) Biomassa (caroço, bagaço seco, resíduos lenhosos)

Enquadramento

O setor oleícola gera biomassa residual com elevado poder calorífico, nomeadamente:

- Caroço de azeitona;
- Bagaço seco;
- Resíduos de poda.

A valorização energética destes subprodutos permite fechar ciclos e reduzir dependência de combustíveis fósseis.

Aplicações no lagar

- Caldeiras para:
 - Água quente;
 - Aquecimento de espaços;
 - apoio a processos térmicos;
- Cogeração em unidades de maior escala.

Benefícios

- Neutralidade carbónica (emissões biogénicas);
- Redução de custos energéticos;
- Valorização interna de resíduos;
- Criação de cadeias locais.

Evidência científica

Estudos confirmam o elevado potencial energético do caroço e bagaço, com PCI comparável a biomassa florestal (Manzanares et al., 2017; García-Maraver et al., 2014).

d) Integração híbrida (PV + biomassa + rede)

A solução tecnicamente mais robusta para lagares é a **hibridação de fontes**:

- PV → eletricidade diurna;
- Biomassa → calor estável;
- Rede → backup.

Esta estratégia:

- Maximiza autoconsumo;
- Reduz exposição a falhas;

- Permite flexibilidade operacional.

Obstáculos à implementação

Tipo	Obstáculo
Técnico	Sazonalidade da campanha
Económico	CAPEX inicial
Regulatório	Licenciamento
Organizacional	Falta de planeamento energético
Cultural	Desconhecimento tecnológico

Casos práticos

Caso 1 – Portugal (Alentejo)

Vários lagares alentejanos integraram **sistemas fotovoltaicos para autoconsumo**, reduzindo a fatura energética e as emissões. Embora nem sempre publicados em revistas científicas, estes projetos são reportados em auditorias energéticas e projetos regionais (ex.: TESLA, Alentejo 2020).

Resultado típico:

- Redução de 30–50% da eletricidade comprada;

Retorno económico em ~5 anos.

Caso 2 – Espanha (Andaluzia)

Cooperativas andaluzas integraram:

- Fotovoltaico + biomassa de caroço;
- Sistemas híbridos para autoconsumo.

Estudos reportam reduções de emissões superiores a **40%** na fase industrial (Salomone *et al.*, 2015).

Quadro comparativo – Tecnologias renováveis no lagar

Tecnologia	Aplicação	Redução típica de energia fóssil	Redução GEE	Payback
Fotovoltaico	Eletricidade	30–60%	Alta	4–7 anos
Solar térmico	Aqs	30–50%	Média	5–8 anos
Biomassa	Calor	50–90%	Muito alta	3–6 anos
Sistema híbrido	Eletricidade + calor	>60%	Muito alta	Variável

Indicadores para o Roteiro

- % energia renovável consumida;
- kWh PV produzidos/ano;
- t biomassa valorizada;
- t CO₂e evitadas;
- custo energético €/t azeite.

Conclusão

“A integração de energias renováveis nos lagares, nomeadamente solar fotovoltaica, solar térmica e biomassa, constitui uma das medidas com maior impacto estrutural na descarbonização do setor, permitindo reduzir emissões, estabilizar custos energéticos e valorizar recursos endógenos.”

4.2.3 Valorização de Subprodutos e Resíduos

A produção de azeite gera volumes significativos de subprodutos, em particular bagaço de azeitona e águas ruças, que representam simultaneamente um desafio ambiental e uma oportunidade estratégica no contexto da descarbonização do

setor. Tradicionalmente, estes resíduos foram encarados como passivos, associados a riscos de contaminação do solo e da água. Contudo, a evidência científica e a evolução tecnológica demonstram que, quando corretamente geridos, podem ser transformados em recursos valorizáveis, contribuindo para a redução de emissões, substituição de recursos fósseis e reforço da economia circular.

No âmbito do Roteiro de Descarbonização, a valorização destes fluxos assume um papel duplo:

- **Mitigação climática**, pela substituição de combustíveis fósseis e redução de emissões associadas ao tratamento inadequado;
- **Eficiência de recursos**, promovendo a reutilização interna e externa.

Bagaço de azeitona

O bagaço resulta da extração do azeite e contém:

- Polpa;
- Fragmentos de caroço;
- Água residual.

Apresenta elevado poder calorífico, especialmente após secagem, o que o torna um combustível renovável relevante.

Principais vias de valorização

a) Valorização energética

- Uso direto em caldeiras de biomassa;
- Produção de *pellets*;
- Cogeração térmica.

Esta via permite:

- Substituir gasóleo/gás;
- Reduzir emissões fósseis;
- Diminuir custos energéticos.

b) Valorização agrícola

- Compostagem;
- Produção de corretivos orgânicos;
- Aplicação controlada no solo.

c) Outras aplicações

- Extração de compostos bioativos;
- Matérias-primas para cosmética (abordado em capítulo posterior).

Contributo para a descarbonização

- Substituição direta de combustíveis fósseis;
- Redução de emissões por decomposição anaeróbia;
- Diminuição de transporte externo de resíduos.

Águas ruças

As águas ruças resultam do processo de lavagem e extração e apresentam:

- Elevada carga orgânica;
- Compostos fenólicos;
- Potencial poluente elevado.

Desafios ambientais

- Risco de contaminação de solos e aquíferos;

- Elevada procura química de oxigénio (CQO);
- Toxicidade para ecossistemas.

Soluções de valorização

a) Tratamento e reutilização

- Tratamentos físico-químicos;
- Fitodepuração;
- Reutilização controlada em rega (após tratamento).

b) Digestão anaeróbia

- Produção de biogás;
- Redução da carga poluente;
- Produção de digestato valorizável.

c) Extração de compostos

- Polifenóis;
- Antioxidantes naturais.

Estas soluções serão desenvolvidas em profundidade no capítulo dedicado à Economia Circular.

Contributo para a descarbonização

- Produção de energia renovável (biogás);
- Redução de emissões de metano;
- Substituição de fertilizantes minerais.

Benefícios económicos e operacionais

- Redução de custos com gestão de resíduos;

- Criação de novas fontes de receita;
- Melhoria da imagem ambiental;
- Cumprimento de requisitos legais.

Obstáculos à implementação

- Investimento inicial;
- Necessidade de licenciamento;
- Logística de recolha e armazenamento;
- Escala mínima para viabilidade económica;
- Falta de conhecimento técnico.

Indicadores

- T de bagaço valorizado (% do total);
- Kwh produzidos a partir de biomassa;
- M³ de águas ruças tratadas;
- T CO₂e evitadas;
- Custos evitados (€).

Conclusão

A valorização do bagaço e das águas ruças constitui uma oportunidade estratégica para reduzir emissões, substituir combustíveis fósseis e transformar passivos ambientais em recursos económicos, devendo ser promovida de forma integrada no âmbito do Roteiro de Descarbonização.

4.3 Transporte e Logística

O transporte e a logística interna da fileira do azeite representam uma componente relevante das emissões indiretas de gases com efeito de estufa (Escopo 3), associadas sobretudo ao consumo de combustíveis fósseis em deslocações de tratores, camiões e viaturas ligeiras ao longo da cadeia produtiva. Embora, em termos relativos, o impacto climático do transporte seja inferior ao da fertilização ou da energia de rega, diversos estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (LCA) demonstram que a logística contribui de forma não negligenciável para a pegada carbónica do azeite, sobretudo quando há longas distâncias, cargas subótimas e operações pouco planeadas.

No contexto deste Roteiro de Descarbonização, a logística deve ser encarada como uma área de intervenção estratégica, dado que muitas das medidas adotadas nestes processos e com o objetivo de redução de emissões, têm baixo custo relativo, apresentam retorno económico rápido e são facilmente replicáveis em todo o setor.

Este capítulo aborda três eixos fundamentais:

- Otimização de rotas e logística reversa;
- Transição para veículos de baixas emissões;
- Armazenamento local descentralizado.

4.3.1 Otimização de Rotas e Logística Reversa

A otimização logística consiste em planear deslocações de forma mais eficiente, reduzindo:

- Quilómetros percorridos;
- Tempos de viagem;

- Viagens em vazio;
- Tempos de espera com motores ligados.

No setor oleícola, esta otimização aplica-se sobretudo a:

- Transporte da azeitona do campo para o lagar;
- Deslocações internas entre parcelas;
- Transporte de fatores de produção (fertilizantes, fitofármacos, combustível);
- Recolha de subprodutos (bagaço, águas ruças).

Evidência científica

Estudos no setor agroalimentar mostram que a otimização de rotas pode reduzir emissões de CO₂ entre 10% e 30%, apenas com melhor planeamento logístico (Demir *et al.*, 2014; Bektaş & Laporte, 2011). No setor do azeite, Salomone *et al.* (2015) demonstram que o transporte contribui de forma relevante para a pegada ambiental total, sendo particularmente sensível à distância e à taxa de carga dos veículos.

Logística reversa

Consiste no aproveitamento das viagens de retorno para:

- Recolha de embalagens vazias;
- Transporte de subprodutos para valorização;
- Entrega de materiais em sentido inverso.

Exemplo prático:

Um camião que transporta azeitona para o lagar regressa vazio → pode trazer composto, biomassa triturada ou materiais agrícolas, reduzindo uma viagem adicional.

Impacto na descarbonização:

- Redução direta do consumo de gasóleo;
- Menos emissões por tonelada transportada;
- Maior eficiência operacional.

124

4.3.2 Transição para Veículos de Baixas Emissões

O transporte no setor agrícola depende quase exclusivamente de viaturas a gasóleo, tratores, camiões de média e grande tonelagem.

No entanto, a literatura mostra que a eletrificação parcial e a transição energética progressiva são tecnicamente viáveis para certos tipos de transporte, especialmente nas seguintes situações:

- Deslocações curtas;
- Transporte interno em exploração;
- Veículos ligeiros de apoio.

Soluções tecnológicas disponíveis

a) Veículos elétricos ligeiros

- Carrinhas elétricas para logística interna;
- Deslocações entre parcelas;
- Transporte de pessoal e pequenos volumes.

b) Tratores híbridos/elétricos (em fase inicial)

- Já existem protótipos e modelos comerciais;

- Adequados para operações ligeiras;
- Grande potencial em explorações com produção fotovoltaica.

c) Biocombustíveis e HVO

- Substituição parcial do gasóleo convencional;
- Redução de emissões líquidas;
- Compatíveis com motores existentes.

d) Hidrogénio (futuro próximo)

- Ainda experimental;
- Potencial para transporte pesado.

Evidência científica

Segundo o relatório da Agência Europeia do Ambiente (EEA, 2022), a eletrificação de frotas ligeiras pode reduzir emissões entre 50% e 70%, dependendo da origem da eletricidade. Estudos de Notter *et al.* (2015) demonstram que veículos elétricos têm menor pegada carbónica ao longo do ciclo de vida, mesmo considerando produção de baterias.

Integração com energias renováveis

Uma estratégia muito relevante para o setor oleícola é a instalação de painéis fotovoltaicos nas explorações que entre outras vantagens, permite o carregamento de viaturas elétricas com energia própria, o que contribui para a redução simultânea de custos e emissões.

Impacto na descarbonização

- Redução estrutural das emissões;
- Menor dependência de combustíveis fósseis;

- Melhoria da imagem ambiental do setor.

4.3.3 Armazenamento Local Descentralizado

O armazenamento local descentralizado consiste em:

- Criar pontos intermédios de recolha/armazenamento;
- Reduzir deslocações longas e repetidas;
- Otimizar fluxos de transporte.

No setor do azeite, aplica-se a:

- Armazenamento temporário de azeitona;
- Centros de recolha cooperativos;
- Armazenamento de subprodutos.

Benefícios operacionais

- Redução de viagens longas;
- Transporte em maiores volumes;
- Menos deslocações diárias;
- Melhor gestão da campanha;
- Evita picos logísticos;
- Menor tempo de espera no lagar;
- Melhor qualidade da azeitona;
- Integração com cooperativas;
- Recolha conjunta;
- Transporte otimizado;
- Partilha de infraestruturas.

Evidência científica

Estudos sobre logística agroalimentar mostram que a descentralização de pontos de recolha pode reduzir significativamente a distância média percorrida por unidade de produto (Akkerman *et al.*, 2010). No setor oleícola, modelos cooperativos têm sido apontados como soluções eficientes do ponto de vista económico e ambiental.

Impacto na descarbonização

- Redução de km percorridos;
- Maior eficiência por tonelada transportada;
- Redução do congestionamento e tempos mortos.

Caso prático – Cooperativas oleícolas do Alentejo (Portugal)

Armazenamento local descentralizado e transporte coletivo

Embora menos descritas em artigos científicos, várias cooperativas oleícolas alentejanas (modelo comum no setor) aplicam, na prática, princípios claros de descarbonização logística.

Medidas típicas

Centros de recolha locais:

- Produtores entregam azeitona em pontos próximos;
- Transporte em maior volume para o lagar.

Armazenamento temporário controlado:

- Redução do número de viagens diárias;
- Melhor gestão de picos de campanha.

Transporte coletivo/coordenado:

- Menos viaturas individuais;
- Maior taxa média de carga.

Recolha centralizada de subprodutos (bagaço).

Evidência indireta (LCA e logística agroalimentar)

Estudos de LCA no azeite indicam que reduzir a distância média e aumentar a carga por viagem tem impacto direto na redução da pegada carbónica do transporte (Rinaldi *et al.*, 2014; Salomone *et al.*, 2015).

As medidas mencionadas são altamente replicáveis apresentam um baixo investimento e têm um forte impacto agregado ao nível regional.

Mensagem-chave

A descentralização da recolha e o transporte coletivo são exemplos de soluções *low-tech* com elevado potencial de redução de emissões.

Conclusão

A operacionalização da descarbonização logística assenta em metas mensuráveis, nomeadamente a redução da distância percorrida por tonelada transportada, o aumento da taxa de carga dos veículos, a implementação sistemática de logística reversa e a transição progressiva para frotas de baixas emissões, inspiradas em boas práticas já existentes no setor, como modelos cooperativos regionais e planeamento logístico integrado.

4.4 Embalagem e Distribuição

4.4.1 Mercado Interno: Valorização do Consumo Local e Circuitos Curtos

No mercado nacional, a pegada de carbono do azeite é combatida através da eliminação da distância e da circularidade dos recursos. A estratégia assenta em

três pilares: o ecodesign da embalagem, a otimização inteligente das rotas e a transição energética da frota.

a) Ecodesign e Circularidade na Embalagem

Para o mercado local, o design deve priorizar a **reutilização** sobre a reciclagem, aproveitando a proximidade geográfica com o consumidor.

- **Sistemas de Refill (Venda a Granel):** Implementação de estações de enchimento em pontos de venda parceiros. O consumidor reutiliza a sua própria garrafa, eliminando a pegada de fabrico de novas embalagens.
- **Design para Logística Reversa:** Desenvolvimento de garrafas de vidro "standard" e robustas, com rotulagem fácil de remover ou gravada permanentemente, permitindo a recolha, lavagem e reutilização num sistema de depósito (*loop* fechado).
- **Otimização de Formatos (Bag-in-Box):** Promoção de formatos de maior volume (3L a 5L) para o consumo doméstico e canal HORECA. Estas embalagens reduzem o rácio plástico/azeite e otimizam o empilhamento, permitindo transportar mais produto em menos espaço.

b) Planeamento Inteligente e Distribuição Otimizada

A eficiência no mercado interno depende da redução de quilómetros inúteis e da maximização da taxa de ocupação dos veículos.

- **Logística Preditiva e Clustering:** Divisão do território em zonas de entrega fixas por dias da semana. Utilização de algoritmos de *Vehicle Routing Problem* (VRP) para sequenciar paragens, evitando congestionamentos e reduzindo o tempo de motor ligado (*idling*).

- **Micro-Hubs de Consolidação Urbana:** Entrega de mercadoria em pontos de distribuição estratégica nos arredores das cidades. A distribuição final (*last mile*) é transferida para veículos micro elétricos ou bicicletas de carga, reduzindo a pegada de carbono e o tráfego nos centros históricos.
- **Logística Colaborativa (*Backhauling*):** Estabelecimento de parcerias com outros produtores regionais (vinho, mel, queijo) para partilha de veículos. O objetivo é garantir que as viaturas viajam sempre com carga, tanto na ida como no regresso ao lagar.

c) Transição Energética da Frota

A substituição de combustíveis fósseis por energia limpa é o passo final para a descarbonização da distribuição nacional.

- **Frota 100% Elétrica para Áreas Urbanas:** Adoção de furgões elétricos para as rotas de curta e média distância. Estas viaturas são energeticamente mais eficientes no ciclo urbano e eliminam as emissões de gases com efeito de estufa no ponto de entrega.
- **Autoconsumo Solar no Lagar:** Instalação de painéis fotovoltaicos nas infraestruturas da PME para carregar as baterias da frota. Isto permite que a energia que move o azeite seja gerada no mesmo local onde ele é produzido.
- **Uso de Biocombustíveis (HVO):** Nas rotas de longa distância onde a eletrificação ainda não é viável, a utilização de HVO (Óleo Vegetal Hidrotratado) permite reduzir as emissões de CO₂ até **90%** sem necessidade de alterar os motores a diesel existentes.

Resumo de Benefícios

- a) **Redução Radical de Resíduos:** Através do sistema de *refill* e garrafas reutilizáveis;
- b) **Eficiência de Trajeto:** Menos quilómetros por litro de azeite entregue;
- c) **Diferenciação de Marca:** O consumidor valoriza o "Azeite de Proximidade" que chega através de uma logística invisível e limpa.

KPI (Indicador)	Definição / Cálculo	Objetivo (Meta Típica)	Impacto na Descarbonização
Rácio de Km por Entrega	Km Totais Percorridos/	Redução de 15% a 20% no primeiro ano.	Mede a eficácia do planeamento de rotas e do agrupamento (<i>clustering</i>).
Taxa de Ocupação da Frota	Número de Entregas	Manter acima de 85%.	Evita o transporte de "ar", reduzindo o número de viagens necessárias.
Rácio de Embalagem Reutilizada	Volume Transportado/	Atingir 30% no mercado local.	Elimina a pegada de carbono associada à produção de novas garrafas de vidro.
Intensidade Carbónica por Litro	Capacidade Máxima do Veículo	Redução contínua (g CO ₂ /L).	O indicador "rei" da descarbonização logística.
Percentagem de Km Verdes	N.º Garrafas Reutilizadas/	Evolução para 100% nas áreas urbanas.	Mede a transição energética e a independência dos combustíveis fósseis.
Rácio de Logística Reversa	Total de Unidades Vendidas	Maximizar (evitar viagens em vazio).	Otimiza o uso do veículo e reduz a pegada por operação.

Tabela 13 - KPIs: Descarbonização na distribuição nacional

Fonte: Elaboração própria.

Como implementar a medição do "Rácio de Km por entrega":

Para que este KPI seja fiável, há que:

- **Registo Digital:** Utilizar uma aplicação simples de gestão de frotas ou o GPS das viaturas para registar a quilometragem exata de cada rota.
- **Análise de Densidade:** Se o rácio for elevado (muitos km para poucas entregas), deve-se reavaliar se certas zonas devem passar de entregas bissemanais para semanais, ou se devem ser servidas por um parceiro logístico local (micro-hub).
- **Benchmarking:** Comparar rotas urbanas (baixa km, muitas paragens) com rotas rurais (alta km, poucas paragens) para ajustar o tipo de veículo (Elétrico vs. HVO).

Exemplo Prático de Comunicação

"Graças à otimização das nossas rotas e à nossa frota elétrica, no último ano reduzimos em 22% os quilómetros percorridos por cada entrega, o que equivale a termos deixado de emitir [X] toneladas de CO₂ para a atmosfera em Portugal."

4.4.2 Mercado Externo: Descarbonização da Cadeia Internacional

Para tornar a logística internacional do azeite mais eficiente e, simultaneamente, atingir metas de descarbonização, é necessário atuar em três pilares fundamentais: otimização de carga, modos de transporte sustentáveis e digitalização da cadeia de abastecimento.

Estratégias principais para alcançar um modelo de exportação de "Azeite Carbono Zero":

a) Otimização do Transporte e Intermodalidade

O transporte é a maior fonte de emissões na logística. A transição para modelos de menor impacto é essencial.

- **Shift do Rodo para o Ferro-Mar:** Para exportações dentro da Europa, substituir o transporte rodoviário pelo ferroviário pode reduzir as emissões em até **75%**. Para mercados transatlânticos, o uso de navios equipados com tecnologias de assistência ao vento (velas rígidas) ou combustíveis alternativos (metanol verde/amoniaco) é o caminho futuro.
- **Logística de "Última Milha" Elétrica:** Nos centros urbanos de destino, a utilização de carrinhas elétricas ou bicicletas de carga para a distribuição final elimina as emissões locais e ruído.
- **Agrupamento de Carga (Consolidação):** Maximizar a taxa de ocupação dos contentores evita o transporte de "ar", reduzindo o número de viagens necessárias e o custo por litro transportado.

b) Inovação no *Packaging* e Unitarização

O peso e o volume das embalagens influenciam diretamente o consumo de combustível.

- **Bulk Shipping (Flexitanks):** Em vez de transportar garrafas de vidro (que são pesadas e frágeis) em contentores, o azeite pode ser exportado a granel em *Flexitanks* (grandes reservatórios flexíveis dentro de contentores standard).

Vantagem: Transporta-se cerca de 40% mais produto no mesmo espaço, reduzindo drasticamente a pegada de carbono por litro. O engarrafamento é feito no país de destino.

- **Materiais Leves e Circulares:** Substituir o vidro tradicional por vidro leve ou embalagens *bag-in-box* para o canal Horeca. O *bag-in-box* tem uma

pegada de carbono significativamente menor devido ao peso reduzido e à eficiência de empilhamento.

c) Digitalização e Inteligência Artificial

A eficiência máxima só é alcançada quando os dados eliminam o desperdício operacional.

- **Planeamento de Rotas por IA:** Algoritmos que calculam a rota mais curta e com menos congestionamento, integrando dados em tempo real para evitar paragens desnecessárias (motores em *idling*).
- **Blockchain para Rastreabilidade:** Permite uma documentação 100% digital (e-CMR), eliminando o papel e reduzindo tempos de espera nas alfândegas, o que otimiza o fluxo logístico.
- **Sensores IoT:** Monitorizar a temperatura e a luz em tempo real garante que o azeite não se degrade. Evitar a perda de produto é, por si só, uma forma de sustentabilidade (evita-se a "pegada desperdiçada").

Ação	Impacto na Descarbonização
Logística Reversa	Reutilização de paletes e contentores intermédios (IBCs) para reduzir resíduos.
Centros Logísticos Verdes	Armazéns com painéis solares para alimentar câmaras de conservação de temperatura controlada.
Combustíveis HVO	Utilização de Óleo Vegetal Hidrotratado (HVO) nos camiões atuais para reduzir emissões de CO2 até 90% .

Tabela 14 – Impacto das estratégias definidas para a descarbonização

Fonte: Elaboração própria.

Estudo comparativo de custos e emissões

- ✓ **Comparação de Capacidade e Eficiência**

Comparação do transporte de azeite virgem extra de Portugal (Porto de Sines) para os EUA (Porto de Nova Iorque), utilizando um contentor standard de 20 pés. Este comparativo destaca a diferença entre a logística tradicional (garrafas) e a logística industrial otimizada (Flexitank).

O principal fator de descarbonização aqui é a densidade da carga. O vidro é pesado e o formato das garrafas deixa muito espaço vazio.

Parâmetro	Garrafas de Vidro (0,75L)	Flexitank (Granel)	Diferença
Volume de Azeite	~10.500 Litros	~24.000 Litros	+128%
Peso da Embalagem	~8.000 kg (vidro + cartão)	~60 kg (polietileno)	-99%
Peso Bruto Total	~19.500 kg	~24.800 kg	Maior densidade
Unidades de Venda	14.000 garrafas	0 (envasado no destino)	N/A

Tabela 15 – Comparativo dos parâmetros de transporte internacional em garrafas vs. Flexitank

Fonte: Elaboração própria.

✓ Estimativa de Emissões de CO2

Considerando uma viagem marítima de aproximadamente 6.000 km e as emissões médias de um porta-contentores moderno:

- **Cenário Garrafas:** As emissões do navio são divididas por apenas 10.500 litros. Além disso, houve o custo de carbono para fabricar e transportar 8 toneladas de vidro de Portugal para os EUA.
- **Cenário Flexitank:** As emissões são divididas por 24.000 litros. O impacto do transporte "por litro" cai drasticamente.

Pegada de Carbono no Transporte Marítimo (Estimada):

- **Garrafas:** ~0,085 kg de CO₂ por litro;
- **Flexitank:** ~0,038 kg de CO₂ por litro;
- **Redução:** 55% de poupança direta em emissões de transporte.

✓ **Análise de Custos Logísticos (Estimativa)**

- Mantendo como referência o transporte de **azeite virgem extra** de Portugal (Porto de Sines) para os EUA (Porto de Nova Iorque), utilizando um contentor standard de 20 pés, os custos são significativamente reduzidos no modelo Flexitank devido à economia de escala no frete e na manipulação.

Custo Estimado (Porta-a-Porta)	Garrafas (20ft)	Flexitank (20ft)
Frete Marítimo e Taxas	2.500 €	2.800 € (inclui instalação)
Custo por Litro (Frete)	0,24 € / L	0,11 € / L
Risco de Quebra/Dano	Moderado (vidro)	Muito Baixo
Custo de Embalagem	Elevado (garrafas + paletes)	Baixo (reciclável)

Tabela 16 – Comparativo dos custos de transporte internacional em garrafas vs. Flexitank

Fonte: Elaboração própria.

- Comparativo que destaca a diferença entre a logística tradicional (garrafas) e a logística industrial otimizada (Flexitank).
- ✓ **Vantagens e Desafios da Descarbonização via Flexitank**
- **Menos Contentores:** Para exportar a mesma quantidade de azeite, precisa de 2,3 vezes menos navios/camiões do que se usasse garrafas.

- **Reciclagem:** O Flexitank é feito de polietileno, que pode ser reciclado após o uso, ao contrário das paletes de madeira e plásticos de embalagem que muitas vezes se perdem.
- **Eficiência no Destino:** Ao engarrafar nos EUA, utiliza-se vidro produzido localmente, reduzindo o "transporte de peso morto" através do oceano.

Desafios:

- **Perda de Controlo da Marca:** Requer que o exportador tenha uma unidade de confiança (ou própria) no destino para garantir que a qualidade do azeite se mantém no engarrafamento.
- **Investimento Inicial:** Necessidade de equipamento de bombagem e tanques de receção no destino.

Conclusão

A transição para o Flexitank é a medida isolada com maior impacto na descarbonização da logística internacional do azeite. Reduz o custo logístico para metade e corta a pegada de carbono por litro em mais de 50%.

A monitorização por IoT (Internet das Coisas) é a "apólice de seguro" digital para a exportação de azeite a granel ou engarrafado. Dado que o azeite é um produto vivo e quimicamente instável, a tecnologia IoT foca-se em controlar os três "inimigos" da sua qualidade: temperatura, oxigénio e luz.

Aqui se apresentam as principais tecnologias e como elas garantem a integridade do produto durante viagens transoceânicas:

a) Sensores de Temperatura e Humidade em Tempo Real

A temperatura é o fator mais crítico. Temperaturas acima de **25°C** aceleram a oxidação e a degradação dos polifenóis (antioxidantes naturais).

- **Tecnologia:** Sensores *plug-and-play* (como os da *Hapag-Lloyd Live* ou *Maersk Remote Container Management*) instalados no interior do contentor.
- **Funcionamento:** Utilizam conectividade via satélite ou redes GSM para enviar alertas imediatos se a temperatura exceder um limite pré-definido.
- **Garantia de Qualidade:** Permite identificar se o contentor foi deixado ao sol no cais de embarque (onde as temperaturas internas podem chegar aos **50°C**), permitindo ações corretivas antes do produto se tornar "rançoso".

b) Sensores de Luz e Abertura de Portas

A luz é o catalisador da **foto-oxidação**, que destrói a clorofila e altera a cor e sabor do azeite.

- **Tecnologia:** Sensores óticos de alta precisão.
- **Funcionamento:** Detetam variações mínimas de luminosidade (Lumens).
- **Segurança e Qualidade:** Além de garantir que o azeite viaja no escuro total (especialmente importante para Flexitanks que podem ter microfugas de luz), funcionam como medida de segurança contra adulteração ou roubo, registando exatamente quando e onde o contentor foi aberto.

c) Monitorização do Espaço de Cabeça (*Headspace*) e Oxigénio

No caso de grandes depósitos ou Flexitanks, o contacto com o oxigénio é fatal para a qualidade extra virgem.

- **Tecnologia:** Sensores de O₂ e CO₂ integrados em válvulas inteligentes.

- **Inovação:** Alguns sistemas avançados permitem a monitorização da camada de **azoto (gás inerte)** injetada sobre o azeite. Se o nível de azoto baixar (indicando uma fuga), o sistema alerta para a necessidade de repressurização.

d) Rastreabilidade via Blockchain e Smart Contracts

A monitorização não serve apenas para "ver", mas para "validar".

- **Smart Contracts:** Os dados dos sensores IoT podem ser ligados a um contrato inteligente. Se os sensores registarem que o azeite esteve acima de **30°C** por mais de 48 horas, o pagamento pode ser automaticamente renegociado ou o seguro ativado, pois o produto já não cumpre os requisitos de "Extra Virgem" à chegada.
- **Transparência para o Consumidor:** O cliente final pode ler um QR Code na garrafa e ver o gráfico de temperatura de toda a viagem, aumentando o valor percebido do produto.

Benefícios para a Descarbonização

A IoT contribui para a sustentabilidade ao:

- **Reduzir o Desperdício:** Evita que carregamentos inteiros sejam rejeitados por perda de qualidade (o desperdício de azeite é um desperdício de toda a água e energia usada na produção).
- **Otimizar Manutenção:** Sensores de vibração detetam problemas mecânicos nos navios ou camiões, permitindo uma condução mais eficiente e menor consumo de combustível.

Risco	Sensor IoT	Ação Preventiva
Oxidação Térmica	Termómetro Digital	Desvio para armazém refrigerado ou zona de sombra.
Foto-oxidação	Sensor de Lux	Verificação de integridade do Flexitank/Contentor.
Adulteração	Sensor Magnético (Porta)	Registo de cadeia de custódia inviolável.
Degradação Química	E-tongue (Sensores Químicos)	Análise preventiva de compostos voláteis em trânsito.

Tabela 17 - Comparativo de Monitorização com IoT

Fonte: Elaboração própria.

Conclusões

- ✓ **No Mercado Interno:** O sucesso depende da **proximidade e do design**. Embalagens reutilizáveis e rotas curtas são a prioridade.
- ✓ **No Mercado Externo:** O sucesso depende da engenharia e densidade. Maximizar a carga e monitorizar via IoT garante que a sustentabilidade não compromete a qualidade "Extra Virgem".
- ✓ **Na Gestão:** O que não se mede, não se melhora. A utilização de **KPIs de carbono** é essencial para validar qualquer alegação ambiental perante o consumidor.

Como fazer a transição para um modelo de logística inteligente e descarbonizado

Para uma PME portuguesa, a transição para um modelo de logística inteligente e descarbonizado deve ser feita por fases, garantindo que o investimento tecnológico acompanha o retorno em eficiência.

São apresentadas 4 etapas fundamentais:

Passo 1: Diagnóstico e Seleção do Modelo de Carga

Antes de investir em tecnologia, é preciso definir o volume e o destino.

- **Avaliação de Volume:** Identificar destinos onde se exportam mais de 15.000 litros/mês. Abaixo disto, a consolidação de carga engarrafada pode ser mais viável; acima disto, o Flexitank é a escolha lógica.
- **Parceria no Destino:** Estabelecer um acordo com uma unidade de engarrafamento certificada no país de destino. Isto permite enviar azeite a granel (*bulk*) e colocar o vidro apenas na fase final da distribuição.

Passo 2: Implementação de Flexitanks (Hardware Logístico)

A transição do vidro para o granel é o maior salto na descarbonização.

- **Preparação do Contentor:** Utilizar contentores de 20 pés (20ft) standard. A instalação do Flexitank demora menos de 30 minutos e não requer modificações permanentes no contentor.
- **Certificação de Grau Alimentar:** Garantir que o fornecedor do Flexitank possui certificações FDA e EC, e que o material (Polietileno) é 100% reciclável no destino para cumprir as metas de economia circular.
- **Inertização:** Implementar o sistema de varrimento com azoto durante o enchimento para expulsar o oxigénio, garantindo a estabilidade química durante a viagem.

Passo 3: Integração de Monitorização IoT (Software e Dados)

Para garantir que o azeite mantém a classificação "Virgem Extra" até ao cliente final.

- **Seleção de Sensores:** Optar por dispositivos "descartáveis" ou "recuperáveis" que medem **Temperatura, Humidade e Luz**.

- **Configuração de Alertas:** Definir um *threshold* (limite) de segurança. Por exemplo, se a temperatura interna do contentor exceder os **28°C**, a equipa de logística recebe um alerta automático via SMS ou e-mail.
- **Plataforma de Visibilidade:** Utilizar uma *dashboard* (painel de controlo) onde a PME pode ver a localização exata do navio e o estado da carga em tempo real, partilhando estes dados com o comprador para gerar confiança.

Passo 4: Auditoria de Carbono e Certificação

Validar o esforço de descarbonização para fins de marketing e conformidade.

- **Cálculo da Pegada:** Utilizar as métricas de redução (ex: -50% de CO₂ ao usar Flexitank vs. Vidro) para obter selos de sustentabilidade.
- **Verificação:** Submeter o processo a uma auditoria de qualidade e ambiente (como a **ISO 14064** - Pegada de Carbono) para validar as reduções de emissões alcançadas.

Resumo do Fluxo de Trabalho

1. **Mês 1:** Seleção de um parceiro de engarrafamento no mercado de destino.
 2. **Mês 2:** Teste piloto com 1 contentor de 20ft equipado com Flexitank e 2 sensores IoT.
 3. **Mês 3:** Análise laboratorial do azeite à chegada vs. dados de temperatura do IoT.
 4. **Mês 4:** Escalonamento da solução para todas as rotas de exportação de alto volume.
- ✓ **Compensação e Certificação (Carbon Offsetting)**

Mesmo com a melhor logística do mundo (Flexitanks, IoT, comboios), a exportação terá sempre uma pegada residual. A compensação serve para neutralizar o que não se consegue eliminar.

- **Mercado de Créditos de Carbono:** Uma PME pode investir em projetos de captura de carbono. Para o setor do azeite, o ideal é o ***Insetting*** (compensação dentro da própria cadeia).
 - *Exemplo:* Apoiar projetos de regeneração de solos ou plantação de novos olivais em Portugal que sequestrem o CO₂ equivalente ao gerado no transporte para os EUA.
 - **Certificações Reconhecidas Internacionalmente:** No mercado externo, o consumidor não confia apenas na palavra da empresa. São necessárias certificações como:
 - **Carbon Trust:** Certifica a pegada de carbono do produto.
 - **ISO 14067:** Define os requisitos para a quantificação da pegada de carbono de produtos.
 - **Selo "Carbon Neutral":** Atribuído por entidades independentes após a prova de que as emissões foram reduzidas ao máximo e o restante compensado.
- ✓ **Comunicação Transparente da "Pegada Exportada"**

Exportar azeite para o outro lado do mundo pode ser visto negativamente por consumidores ecologistas (*food miles*). A comunicação transparente serve para explicar que como o produto viajou é mais importante do que a **distância** que percorreu.

- **Rótulo Ambiental Digital (QR Code):** Em vez de sobrecarregar o rótulo físico, um QR Code pode levar a uma página que mostre:
 - **O trajeto:** "Este azeite viajou via marítima, o meio de transporte com menor emissão por tonelada".
 - **A poupança:** "Graças ao nosso sistema de transporte inteligente, poupámos X kg de CO₂ em comparação com o transporte tradicional".
- **Relatórios de Sustentabilidade Simplificados:** Publicar anualmente os dados de redução de emissões da logística. No mercado B2B (exportação para grandes cadeias de supermercados), isto é hoje um requisito para ser fornecedor preferencial.
- **Storytelling de Eficiência:** Comunicar o "Ecodesign Logístico" (o uso de Flexitanks, por exemplo) como uma inovação tecnológica que protege o planeta e a qualidade do azeite.

Sinergia entre os dois pontos

A certificação dá a **credibilidade** (a base científica) e a comunicação dá a **visibilidade** (o valor de marketing). Sem certificação, a comunicação pode ser vista como um custo sem retorno.

Elemento	Objetivo para o Mercado Externo
Certificação	Cumprir normas regulamentares e aceder a prateleiras <i>Premium Green</i> .
Compensação	Atingir o "Net Zero" e atrair o consumidor consciente.
Comunicação	Justificar o preço e diferenciar a marca portuguesa da concorrência global.

Tabela 18 – Transição para um modelo de logística inteligente e descarbonizado

Fonte: Elaboração própria.

4.5 Economia Circular

A economia circular constitui um dos pilares estruturantes das políticas europeias de sustentabilidade e assume particular relevância nos setores agroindustriais de base territorial, como o setor oleícola. No contexto do Pacto Ecológico Europeu, do Plano de Ação para a Economia Circular e dos instrumentos nacionais de política climática e energética, a transição de modelos lineares (“extrair–produzir–descartar”) para modelos circulares (“produzir–valorizar–reutilizar”) é reconhecida como um vetor essencial de descarbonização estrutural, eficiência no uso de recursos e reforço da resiliência económica.

No setor do azeite, a economia circular revela-se especialmente pertinente devido a:

- Elevada produção de subprodutos orgânicos, concentrados no tempo e no espaço;
- Forte ligação entre agricultura e transformação industrial;
- Potencial significativo de substituição de recursos fósseis e intensivos em carbono, quer na energia, quer nos fertilizantes, quer em matérias-primas industriais.

Neste enquadramento, a economia circular permite transformar subprodutos do olival e do lagar em inputs agrícolas, energéticos e industriais, reduzindo emissões de gases com efeito de estufa (GEE) e criando novas cadeias de valor de base territorial.

Bagaço de azeitona – de resíduo a subproduto valorizável

O bagaço de azeitona constitui um dos subprodutos mais relevantes e ambientalmente sensíveis da fileira do azeite, não só pela sua elevada quantidade

gerada num curto período de tempo, mas também pelas suas características físico-químicas. Estima-se que, para cada tonelada de azeitona transformada, sejam gerados aproximadamente 350 a 800 kg de bagaço, dependendo do sistema de extração, o que, em países produtores mediterrânicos, se traduz em milhões de toneladas de bagaço produzidas anualmente. Trata-se de um material com elevada carga orgânica, elevado teor de humidade (sobretudo no bagaço húmido), presença de compostos fenólicos e uma relação carbono/azoto desequilibrada, fatores que, quando não geridos adequadamente, podem originar impactos ambientais significativos, como emissões de gases com efeito de estufa, odores, contaminação de solos e águas e riscos de fermentação e escorrência.

A sua reciclagem e valorização representam um desafio técnico e logístico relevante, uma vez que exigem soluções adaptadas à sazonalidade da produção, à variabilidade da composição do bagaço e à necessidade de infraestruturas específicas para armazenamento, tratamento e valorização, bem como enquadramento regulamentar claro. Apesar destes desafios, a correta gestão e valorização do bagaço de azeitona constituem uma oportunidade estratégica de economia circular, permitindo transformar um passivo ambiental num recurso agrícola, energético ou industrial, com benefícios diretos na redução de emissões, na eficiência do uso de recursos e na sustentabilidade global do setor oleícola.

Recentemente, em Portugal, foi aprovada uma alteração normativa em que o bagaço de azeitona deixou de ser caracterizado como resíduo e passou a ser considerado um recurso/subproduto valorizável, desde que não tenha sido sujeito a tratamentos químicos. Esta reclassificação legal, aguardando regulamentação específica, representa um avanço estrutural para a economia circular no setor oleícola, facilitando a reutilização de subprodutos em compostagem, bioenergia,

materiais e bioingredientes, com impactos positivos na redução de emissões e na criação de valor económico e ambiental. Simultaneamente, a atualização da legislação relativa às águas-ruças dos lagares, em estudo no âmbito governamental, pretende reconhecer formalmente a sua aplicação segura em solos agrícolas e a sua valorização enquanto recurso, alinhando-se com os objetivos nacionais de mitigação climática e sustentabilidade.

Ao reconhecer formalmente que estes materiais podem ser reaproveitados de forma segura e produtiva, a lei reduz incertezas legais, facilita investimentos e acelera a adoção de práticas circulares

4.5.1 Articulação com o RNC2050 e o PNEC 2030

A economia circular no setor oleícola articula-se de forma direta e consistente com os objetivos definidos no Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050) e no Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC 2030), contribuindo simultaneamente para a mitigação de emissões, o reforço de sumidouros de carbono e a transição energética.

Contributo para o RNC2050

O RNC2050 reconhece que a neutralidade carbónica exige:

- Reduções profundas de emissões nos setores difusos, incluindo a agricultura;
- Reforço da capacidade de remoção e armazenamento de carbono;
- Valorização de soluções baseadas no território e em recursos endógenos.

Neste contexto, as estratégias de economia circular no setor oleícola contribuem para:

- Redução de emissões associadas à produção de fertilizantes minerais e à gestão inadequada de resíduos;
- Reforço do carbono orgânico do solo, através da aplicação de compostos e digestatos;
- Substituição de combustíveis fósseis, por energia renovável produzida a partir de subprodutos.

Contributo para o PNEC 2030

O PNEC 2030 integra objetivos de:

- Promoção da economia circular;
- Aumento da incorporação de energias renováveis, incluindo gases renováveis;
- Redução das emissões nos setores não abrangidos pelo eu-ets, como a agricultura.

As medidas de economia circular no setor oleícola alinham-se com estes objetivos ao:

- Promover a produção de biogás e biometano a partir de resíduos orgânicos;
- Reduzir a dependência de fertilizantes de síntese;
- Aumentar a eficiência no uso de recursos materiais e energéticos.

Deste modo, a economia circular constitui um instrumento operacional de concretização das metas nacionais de energia e clima, assegurando ganhos climáticos mensuráveis e verificáveis.

4.5.2 Fluxos Materiais no Setor Oleícola: Base para a Circularidade

Ao longo da cadeia de valor do azeite são gerados diversos fluxos com elevado potencial de valorização:

- Resíduos agrícolas: ramos de poda, folhas, restos vegetais;
- Subprodutos industriais:
 - Bagaço de azeitona (húmido ou seco);
 - Carço de azeitona;
 - Águas ruças e efluentes líquidos;
 - Resíduos auxiliares: embalagens, lamas e cinzas.

Estes fluxos apresentam elevada carga orgânica, poder calorífico significativo (bagaço e carço) e compostos bioativos de alto valor (polifenóis), constituindo a base técnica para estratégias de economia circular.

4.5.3 Economia Circular e Descarbonização: Mecanismos de Redução de Emissões

A economia circular contribui para a descarbonização do setor oleícola através de quatro mecanismos principais:

- Evitar emissões – substituição de fertilizantes minerais, combustíveis fósseis e matérias-primas intensivas em carbono.
- Reduzir emissões diretas e indiretas – menor transporte e menor tratamento externo de resíduos.
- Produzir energia renovável – biogás, biometano e biomassa sólida.
- Aumentar o sequestro de carbono no solo – aplicação de compostos e digestatos.

Estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (LCA) indicam reduções da pegada carbónica do azeite entre 20% e 60%, consoante o grau de integração das estratégias circulares.

Compostagem, biofertilizantes e retorno ao solo

A compostagem de bagaço, folhas, podas e misturas com outros resíduos agrícolas permite a produção de corretivos orgânicos estabilizados, com benefícios ao nível de:

- Aumento do carbono orgânico do solo;
- Melhoria da estrutura, infiltração e retenção de água;
- Redução da dependência de fertilizantes minerais;
- Diminuição do risco de lixiviação e emissões de N₂O.

A evidência científica demonstra que a aplicação regular de composto contribui para balanços positivos de carbono no solo, sobretudo quando integrada com cobertos vegetais e mobilização reduzida.

Adequação por regime de cultivo

- **Tradicional:** compostagem local ou comunitária; foco na conservação do carbono existente;
- **Em copa:** compostagem centralizada; substituição parcial de fertilização mineral;
- **Em sebe:** biofertilizantes normalizados e aplicação de precisão; compensação da intensidade produtiva.

Digestão anaeróbia e produção de biogás/biometano

A digestão anaeróbia de subprodutos do setor oleícola permite produzir:

- Biogás para eletricidade e calor;
- Biometano para injeção na rede;
- Digestato para valorização agrícola.

Este processo reduz emissões ao substituir energia fóssil e ao evitar emissões não controladas de metano. Diversos estudos apontam para reduções de emissões associadas ao tratamento de resíduos entre 50% e 80%, dependendo da configuração do sistema.

Viabilidade por regime

- **Tradicional:** soluções cooperativas ou intermunicipais;
- **Em copa:** unidades regionais integradas;
- **Em sebe:** elevada viabilidade técnica e económica, sobretudo quando associadas ao lagar.

Bioeconomia e valorização de alto valor acrescentado

Os subprodutos do olival são ricos em polifenóis, antioxidantes e fibras, com aplicação em:

- Cosmética e nutracêutica;
- Ingredientes alimentares;
- Biomateriais e biopolímeros.

A valorização material pode gerar benefícios climáticos superiores à valorização energética, quando substitui produtos de origem fóssil ou intensivos em carbono.

Tipos de biopolímeros e biomateriais produzidos a partir de subprodutos do olival

“A valorização de subprodutos do olival para biopolímeros e biomateriais encontra-se mais avançada em países mediterrânicos com forte escala e capacidade científica (Espanha/Itália), existindo também evidência aplicada e linhas de investigação relevantes em Portugal e Turquia, com exemplos em biocompósitos, biopolímeros a partir de águas ruças (PHA/PHB) e embalagens biodegradáveis/ativas.

Tipo de material	Subproduto usado	Aplicações	Estado típico	Países com projetos/evidência
Biocompósitos lignocelulósicos	bagaço, caroço, biomassa fibrosa	painéis, peças técnicas, construção leve	Piloto / pré-industrial	Espanha (biocompósitos com “olive shell/stone”), (Repositório UAL) Turquia (painéis/compósitos com resíduos do lagar), (ScienceDirect)
Bioplásticos reforçados (com carga / fibra de caroço / bagaço)	pó de caroço, fibras	embalagens, componentes técnicos, peças moldadas	Piloto / protótipo	Espanha (biocompósitos com resíduos de caroço/“shell stone”), (Repositório UAL) Itália (compósitos com pó de caroço, protótipos e impressão 3D), (MDPI)
Biopolímeros PHA/PHB a partir de águas ruças (OMWW)	águas ruças/efluentes do lagar	embalagens biodegradáveis (filmes/rígidos), aditivos	Piloto (projeto UE)	Espanha (coordenação do projeto OLI-PHA ; PHA/PHB a partir de OMWW), (CORDIS)
Filmes biodegradáveis com farinha / micropartículas de bagaço	farinha de bagaço (“olive pomace”)	embalagens biodegradáveis	Investigação / protótipo	Portugal (trabalho com filmes de quitosano + bagaço/“olive pomace”),

				(Universidade de Lisboa)
Materiais “ativos” (antioxidantes) com extratos de oliveira	extratos fenólicos (folhas/água as ruças)	embalagens ativas, cosmética	Investigação / protótipo	UE/consórcios europeus: no OLI-PHA, polifenóis de OMWW são recuperados e usados em embalagens ativas/cosmética, (CORDIS) Polónia/Europa (revisões e desenvolvimento de filmes com extrato de folha), (MDPI)
Biopoliol / precursores para poliuretanos	caroço (olive stone)	poliuretanos, espumas, resinas (materiais)	Investigação aplicada	Portugal (CICECO/UA: “olive stone” como fonte renovável para biopoliol), (CICECO)

Tabela 19 - Biopolímeros e biomateriais produzidos a partir de subprodutos do olival

Fonte: Elaboração própria.

Governança, logística e modelos de organização

A implementação destas medidas de circularidade exige coordenação territorial; modelos cooperativos; infraestruturas partilhadas e um enquadramento regulamentar claro.

A escala é determinante para a viabilidade económica e ambiental, sendo os modelos coletivos particularmente eficazes.

Indicadores de circularidade e MRV

Para alinhamento com o RNC2050 e o PNEC, há que considerar os seguintes indicadores:

- % de subprodutos valorizados;

- Energia renovável produzida a partir de resíduos (kWh);
- Fertilizantes minerais evitados (kg);
- t CO₂e evitadas;
- Evolução do carbono orgânico do solo (SOC).

Medidas de circularidade por regime de cultivo

Regime	Estratégia circular dominante	Impacto climático
Tradicional	Compostagem local e conservação	Médio
Em copa	Compostagem + biogás regional	Alto
Em sebe	Biorrefinaria integrada	Muito alto

Tabela 20 - Medidas de circularidade por regime de cultivo

Fonte: Elaboração própria.

Conclusão

A economia circular constitui um eixo estruturante da descarbonização do setor oleícola, plenamente alinhado com o RNC2050 e o PNEC 2030. A sua implementação diferenciada por regime de cultivo permite reduzir emissões, reforçar sumidouros de carbono, valorizar recursos endógenos e aumentar a resiliência económica e ambiental do setor, assegurando benefícios climáticos mensuráveis e duradouros.

Economia circular e mitigação climática: evidência científica

Estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (LCA) aplicados à produção de azeite demonstram que a gestão e valorização dos subprodutos do lagar constitui um dos principais fatores de redução da pegada carbónica do setor.

Rinaldi et al. (2014), num estudo de LCA “do berço ao portão” aplicado à produção de azeite virgem extra, evidenciam que a valorização energética do bagaço e do caroço de azeitona permite reduzir significativamente as emissões associadas ao produto final, quando comparada com cenários de gestão convencional dos resíduos.

Os resultados indicam reduções globais da pegada carbónica da ordem de 10% a 25% por litro de azeite, dependendo do sistema produtivo e das opções energéticas adotadas, correspondendo a uma diminuição aproximada de 0,15 a 0,35 kg CO₂e por litro de azeite. Estas reduções resultam sobretudo da substituição de energia fóssil por energia renovável de origem biomássica e da mitigação de impactes associados ao tratamento dos subprodutos.

Os autores concluem que a integração de estratégias de economia circular, nomeadamente a valorização energética dos subprodutos do lagar, constitui uma medida estrutural de mitigação climática no setor oleícola, com potencial para melhorar de forma significativa o desempenho ambiental global da cadeia de valor do azeite.

Conclusão: A evidência científica demonstra que a valorização circular dos subprodutos do lagar pode reduzir a pegada carbónica do azeite em mais de uma dezena de pontos percentuais, constituindo uma das medidas de mitigação mais eficazes e imediatamente acionáveis no setor.

5. Avaliação de Impacto e Custos

5.1 Potencial de Redução de Emissões por Medida

No âmbito do presente Roteiro de Descarbonização, foi realizada uma análise das principais medidas de mitigação aplicáveis ao setor olivícola, com o objetivo de identificar aquelas que apresentam maior potencial de redução de emissões de gases com efeito de estufa (GEE) ao longo da cadeia de valor. Esta análise incide, em particular, sobre as fases de produção agrícola (olival) e transformação (lagar), que concentram uma parte significativa das emissões associadas à produção de azeite.

A avaliação qualitativa do potencial de redução de emissões de gases com efeito de estufa associada às diferentes medidas baseia-se numa revisão da literatura científica e técnica disponível para o setor olivícola, incluindo estudos de análise do ciclo de vida (LCA), investigação sobre sequestro de carbono em olivais, eficiência no uso de recursos e valorização de subprodutos. Foram igualmente considerados relatórios e metodologias desenvolvidos a nível europeu, nomeadamente no âmbito da Comissão Europeia, do IPCC e de projetos de investigação como o OLIVE4CLIMATE.

A classificação do potencial de mitigação (baixo, médio e alto) resulta de uma análise integrada da evidência disponível, tendo em conta o impacto direto ou indireto de cada medida nas principais fontes emissoras ao longo da cadeia de valor, bem como a sua relevância em diferentes contextos produtivos.”

Importa salientar que, dada a diversidade de metodologias e contextos analisados na literatura, os valores apresentados devem ser interpretados como ordens de

grandeza indicativas, não correspondendo a estimativas quantitativas específicas para cada exploração.

As medidas consideradas foram organizadas por domínios de intervenção e avaliadas segundo três dimensões principais: (i) o potencial técnico de redução de emissões de GEE, (ii) a sua adequação aos diferentes regimes de produção ou tipologias de unidades industriais, e (iii) o horizonte temporal de implementação. Esta abordagem permite refletir simultaneamente o impacto intrínseco de cada medida e a sua aplicabilidade prática em diferentes contextos produtivos.

As tabelas apresentadas sintetizam a avaliação qualitativa das medidas de descarbonização, recorrendo a uma escala de classificação (baixo, médio e alto) para o potencial de redução de emissões de GEE. Esta classificação refere-se ao impacto técnico da medida na principal fonte emissora da etapa em análise, não devendo ser interpretada como uma percentagem direta da redução da pegada total do produto.

Adicionalmente, as colunas relativas aos diferentes regimes de produção (no olival) e tipologias de lagar refletem a adequação e relevância de cada medida em contexto real, tendo em conta fatores como a intensidade do sistema, o nível de tecnicidade, a disponibilidade de recursos e a viabilidade económica. Desta forma, uma medida pode apresentar elevado potencial de redução de emissões, mas baixa aplicabilidade em determinados sistemas.

Por fim, a análise incorpora uma dimensão temporal, distinguindo entre medidas com maior prioridade de implementação no curto prazo (até 2030), médio prazo (2031–2036) e longo prazo (2037–2040). A introdução dos horizontes temporais 2041–2045 e 2046–2050, em alinhamento com o Roteiro para a Neutralidade

Carbónica 2050, permite distinguir entre medidas de implementação imediata, medidas de consolidação e medidas estruturais de neutralidade de longo prazo. A prioridade atribuída a cada medida não reflete apenas a sua importância intrínseca, mas também a urgência relativa da sua implementação em cada período.

Assim, algumas medidas apresentam prioridade elevada nos primeiros horizontes temporais por constituírem ações de rápida execução e elevado retorno, enquanto outras assumem maior relevância nos períodos finais por dependerem de maior maturação tecnológica, renovação de ativos, integração territorial ou enquadramento regulamentar.

Em conjunto, estas tabelas constituem um instrumento de apoio à decisão, permitindo identificar medidas prioritárias e orientar a transição do setor olivícola para um modelo de produção mais eficiente e de baixo carbono.

Medida	Potencial de redução de GEE	Potencial de redução segundo o regime de cultivo			Prioridade em função do horizonte temporal				
		Tradicional	Copa	Sebe	Até 2030	2031–2036	2037–2040	2041–2045	2046–2050
Coberto vegetal permanente	Alto	Alto	Médio	Médio	Alta	Alta	Média	Média	Média
Mobilização mínima / não mobilização	Médio	Alto	Médio	Médio	Alta	Média	Média	Baixa	Baixa
Rega gota-a-gota e setorização	Médio	Baixo	Alto	Alto	Média	Alta	Alta	Média	Baixa
Sensores e DSS de rega	Médio	Baixo	Alto	Alto	Média	Alta	Alta	Média	Média
Fertirrega de precisão	Alto	Baixo	Alto	Alto	Média	Alta	Alta	Média	Média

Redução de fertilizantes minerais	Alto	Médio	Alto	Alto	Alta	Alta	Média	Média	Média
Proteção integrada (IPM)	Médio	Alto	Médio	Médio	Alta	Alta	Média	Média	Média
Pulverização de precisão	Médio	Baixo	Alto	Alto	Média	Alta	Alta	Média	Média
Otimização do tráfego agrícola	Baixo/Médio	Médio	Médio	Médio	Alta	Média	Baixa	Baixa	Baixa
Bombagem com energia renovável	Médio/Alto	Baixo	Médio	Alto	Média	Alta	Alta	Alta	Média
Zonas de refúgio ecológico	Baixo	Alto	Médio	Baixo	Média	Média	Média	Média	Média

Tabela 21 - Potencial de redução de GEE por tipo de regime e cultivo do olival

Fonte: Elaboração própria.

Justificação das principais medidas

Gestão do solo

A manutenção de coberto vegetal permanente apresenta um elevado potencial de mitigação, sobretudo em olivais tradicionais, ao contribuir para a redução da erosão e promover a acumulação de carbono no solo. Nos sistemas em copa e em sebe, o seu impacto pode ser condicionado pela disponibilidade hídrica, exigindo uma gestão adaptativa que evite a competição com a cultura.

A adoção de práticas de mobilização mínima ou não mobilização permite reduzir a mineralização da matéria orgânica e as perdas de carbono do solo. Esta medida é particularmente relevante em sistemas tradicionais, onde a erosão constitui um fator crítico, enquanto nos sistemas em copa e em sebe a sua implementação depende da compatibilidade com as estratégias de controlo do coberto vegetal.

Gestão da água

A melhoria da eficiência da rega, nomeadamente através da utilização de sistemas localizados e de apoio à decisão (DSS), apresenta potencial de redução de emissões associado à diminuição do consumo de energia na bombagem. A relevância desta medida é elevada em sistemas de copa e de sebe, enquanto nos olivais tradicionais de sequeiro a sua aplicabilidade é limitada.

A utilização de sensores e sistemas de apoio à decisão permite otimizar a dotação e a calendarização da rega, contribuindo para a redução dos consumos energéticos e para uma maior eficiência no uso da água. Estas soluções assumem particular importância em sistemas mais tecnificados.

Nutrição

A fertirrega de precisão apresenta elevado potencial de redução de emissões, ao permitir uma aplicação mais eficiente dos fertilizantes, reduzindo o uso de azoto mineral e as emissões associadas, tanto na sua produção como na emissão de N₂O no solo. Trata-se de uma medida especialmente relevante em sistemas em copa e em sebe.

A redução do uso de fertilizantes minerais constitui uma das medidas com maior impacto direto na mitigação de emissões, dado o peso significativo do azoto nas emissões agrícolas. Esta prática é aplicável a todos os sistemas, embora com maior relevância nos sistemas produtivos mais intensivos.

Gestão fitossanitária

A adoção de estratégias de proteção integrada permite reduzir o número de tratamentos e o uso de substâncias ativas, com impacto indireto na redução de emissões associadas à produção e aplicação de fitofármacos.

A pulverização de precisão contribui para a redução dos volumes aplicados e do número de passagens de maquinaria, com impacto energético relevante, sobretudo nos regimes de produção em copa e em sebe.

Energia

A otimização do tráfego agrícola apresenta um impacto moderado, mas de implementação relativamente simples e rápida, contribuindo para a redução do consumo de combustível nas operações culturais. A utilização de energia renovável na bombagem de água apresenta elevado potencial de mitigação em sistemas irrigados, particularmente nos olivais em sebe, ao reduzir as emissões associadas ao consumo de eletricidade da rede.

Biodiversidade

A criação e manutenção de zonas de refúgio ecológico contribui de forma indireta para a redução de emissões, através da promoção de serviços de ecossistema, nomeadamente o controlo biológico de pragas, podendo reduzir a necessidade de inputs externos.

Nos olivais, as medidas relacionadas com fertilização, rega e gestão do solo mantêm relevância ao longo de todo o período, embora a prioridade de algumas ações de transição, como a mobilização mínima ou a reorganização operacional, tenda a diminuir após 2040. No lagar, as medidas de eficiência energética e monitorização assumem prioridade mais elevada no curto e médio prazo, enquanto as soluções de circularidade avançada e valorização energética dos subprodutos ganham maior centralidade nos horizontes 2045 e 2050, por serem fundamentais para a redução das emissões residuais.

Potencial de Redução de GEE no lagar

Para efeitos de análise, os lagares foram classificados em três tipologias (pequeno, médio e grande), com base na capacidade anual de processamento de azeitona. Esta abordagem permite refletir diferenças estruturais relevantes ao nível da eficiência energética, capacidade de investimento, grau de automação e potencial de implementação de tecnologias de descarbonização, sendo um critério mais representativo do que a dimensão física das instalações.

Tipologia de lagar	Capacidade anual (azeitona)	Caraterização
Pequeno	< 2.000 t/ano	Lagares locais/cooperativos, menor automação
Médio	2.000 – 10.000 t/ano	Estruturas intermédias, alguma otimização
Grande	> 10.000 t/ano	Lagares industriais, alta eficiência e escala

Tabela 22 – Classificação indicativa dos lagares

Fonte: Elaboração própria.

Medida	Potencial de redução de GEE	Potencial de redução segundo tipologia de lagar			Prioridade em função do horizonte temporal				
		Pequeno	Médio	Grande	Até 2030	2031–2036	2037–2040	2041–2045	2046–2050
VFD e motores IE4/IE5	Médio/Alto	Médio	Alto	Alto	Alta	Alta	Média	Baixa	Baixa
Monitorização kWh/t azeitona	Médio	Médio	Alto	Alto	Alta	Alta	Média	Média	Média
Autoconsumo fotovoltaico	Alto	Médio	Alto	Alto	Alta	Alta	Alta	Média	Média
Uso de biomassa (bagaço/caroço)	Alto	Baixo	Médio	Alto	Média	Alta	Alta	Alta	Média
Biogás/biometano	Médio/Alto	Baixo	Médio	Alto	Baixa	Média	Alta	Alta	Alta
Redução do consumo específico de água	Baixo/Médio	Médio	Médio	Médio	Alta	Média	Baixa	Baixa	Baixa
Valorização do bagaço	Alto	Médio	Alto	Alto	Alta	Alta	Alta	Alta	Média
Gestão circular de águas ruças	Médio/Alto	Baixo	Médio	Alto	Média	Alta	Alta	Alta	Alta

Tabela 23 – Potencial de redução de GEE por tipo de lagar

Fonte: Elaboração própria.

Justificação das principais medidas

Eficiência energética

A implementação de variadores de velocidade (VFD) e motores de elevado rendimento (IE4/IE5) apresenta um potencial significativo de redução de emissões, ao diminuir o consumo de eletricidade nos principais equipamentos do lagar, nomeadamente nas fases de moenda, malaxação e centrifugação. O impacto destas medidas é mais expressivo em lagares de média e grande dimensão, onde os equipamentos operam de forma mais contínua e intensiva. Em unidades de pequena dimensão, a sua viabilidade pode ser condicionada por limitações económicas e menor intensidade de utilização.

A monitorização do consumo energético, expressa em indicadores como kW/h por tonelada de azeitona processada, constitui uma medida estruturante para a melhoria da eficiência. Permite identificar ineficiências operacionais e otimizar o funcionamento dos equipamentos, sendo particularmente relevante em lagares de maior escala e complexidade.

Energias renováveis

A adoção de sistemas de autoconsumo fotovoltaico apresenta um elevado potencial de redução de emissões, ao substituir eletricidade proveniente da rede por energia renovável. Esta medida revela-se especialmente eficaz em lagares de média e grande dimensão, onde os perfis de consumo permitem uma maior taxa de autoconsumo, enquanto em unidades de menor escala a sua viabilidade pode depender de condições específicas de investimento e utilização.

A utilização de biomassa, nomeadamente bagaço e caroço de azeitona, como fonte de energia térmica constitui uma solução com elevado potencial de mitigação, permitindo substituir combustíveis fósseis por um recurso endógeno. A

sua aplicação é particularmente relevante em lagares de maior dimensão, onde a disponibilidade de matéria-prima e a escala operacional justificam o investimento.

A produção de biogás ou biometano a partir de subprodutos apresenta também potencial relevante, especialmente em contextos de maior escala ou em soluções partilhadas. No entanto, a sua implementação em lagares de pequena dimensão é geralmente limitada pela necessidade de investimento e pela insuficiente disponibilidade de matéria orgânica.

Gestão da água

A redução do consumo específico de água no processo de transformação apresenta um impacto indireto na mitigação de emissões, ao diminuir a energia associada à sua utilização, tratamento e eventual rejeição. Trata-se de uma medida transversal, aplicável a todos os tipos de lagar, embora com um impacto relativo inferior face às medidas energéticas.

Subprodutos e efluentes

A valorização do bagaço de azeitona constitui uma das medidas com maior impacto estrutural na redução de emissões no lagar, permitindo transformar um subproduto num recurso com valor energético ou material. Esta prática contribui para a substituição de fontes fósseis e para a redução dos impactes associados à gestão de resíduos.

A gestão das águas ruças, através da sua valorização agrícola ou tratamento adequado, permite reduzir emissões indiretas e minimizar impactes ambientais. O potencial desta medida é mais elevado em lagares de maior dimensão, onde é

possível implementar soluções tecnológicas mais avançadas, como digestão anaeróbia ou sistemas controlados de aplicação no solo.

Medidas com prioridade mais forte antes de 2040
<ul style="list-style-type: none"> - VFD e motores IE4/IE5; - Monitorização energética; - Redução do consumo de água; - Fotovoltaico.
Estas são medidas de modernização e eficiência que devem ser atacadas cedo, porque:
<ul style="list-style-type: none"> - Têm retorno relativamente rápido; - Reduzem emissões imediatas; - São pré-condição para passos seguintes.
Medidas que ganham peso no horizonte 2041–2050
<ul style="list-style-type: none"> - Biogás/biometano; - Gestão circular de águas ruças; - Uso de biomassa; - Valorização do bagaço.
Estas medidas tornam-se ainda mais importantes nos horizontes finais porque:
<ul style="list-style-type: none"> - Exigem maior integração territorial ou industrial; - Dependem de maturação tecnológica e enquadramento legal; - São essenciais para reduzir emissões residuais e fechar ciclos materiais.
Medidas que baixam de prioridade após 2040
<ul style="list-style-type: none"> - Motores eficientes; - Eficiência hídrica básica; <p>Não porque deixem de ser importantes, mas porque, numa trajetória coerente com o RNC2050, já deverão estar largamente implementadas.</p>

Tabela 24 - Síntese de medidas prioritárias para olival e lagar até 2050

Fonte: Elaboração própria.

Potencial de Redução de GEE no Engarrafamento e Rotulagem

Na fase de engarrafamento e rotulagem, as principais oportunidades de redução de emissões concentram-se na otimização da embalagem, que representa uma parcela significativa da pegada de carbono do produto final, em particular no caso do vidro. Medidas como a redução do peso das embalagens e a incorporação de materiais reciclados apresentam elevado potencial de mitigação.

Paralelamente, a melhoria da eficiência energética e a adoção de energias renováveis contribuem para a redução das emissões associadas ao processo produtivo. A dimensão da empresa assume um papel relevante, sendo que as unidades de maior escala apresentam maior capacidade de implementação destas soluções, enquanto nas empresas de menor dimensão a adoção pode ser mais gradual.

Tipologia de empresa	Volume anual (indicativo)	Caraterização
Pequena	< 1 milhão litros/ano	Produção limitada, menor automação
Média	1 – 5 milhões L/ano	Alguma escala, eficiência intermédia
Grande	> 5 milhões L/ano	Produção industrial, elevada eficiência

Tabela 25 - Classificação indicativa das empresas de engarrafamento e rotulagem

Fonte: Elaboração própria.

Medida	Potencial de redução de GEE da medida	Dimensão da empresa (*)			Horizonte temporal				
		Pequena	Média	Grande	Até 2030	2031–2036	2037–2040	2041–2045	2046–2050
Eco-design e redução do peso da embalagem	Alto	Médio	Médio/Alto	Alto	Alta	Alta	Média	Média	Média
Incorporação de vidro reciclado	Alto	Médio	Alto	Alto	Alta	Alta	Alta	Média	Média
Substituição parcial por outros formatos (ex.: bag-in-box)	Médio/Alto	Médio	Médio/Alto	Alto	Média	Alta	Alta	Média	Média

Otimização de formatos e volumes	Médio	Médio	Alto	Alto	Alta	Média	Média	Baixa	Baixa
Eficiência energética da linha de enchimento	Médio	Médio	Alto	Alto	Alta	Alta	Média	Baixa	Baixa
Monitorização energética (kWh/L)	Médio	Médio	Alto	Alto	Alta	Alta	Média	Média	Média
Autoconsumo fotovoltaico	Alto	Médio	Alto	Alto	Alta	Alta	Alta	Média	Média
Redução de materiais de rotulagem (rótulos, cápsulas, caixas)	Médio	Médio	Médio/Alto	Alto	Alta	Média	Média	Baixa	Baixa
Utilização de materiais recicláveis/biodegradáveis	Médio	Médio	Médio/Alto	Alto	Média	Alta	Alta	Média	Média
Otimização do embalamento secundário (caixas, paletes)	Médio	Médio	Alto	Alto	Alta	Média	Média	Baixa	Baixa

Tabela 26- Potencial de redução de GEE por dimensão de empresa de engarrafamento e rotulagem

Fonte: Elaboração própria.

Justificação das principais medidas

Embalagem

- Eco-design e redução do peso

Trata-se de uma das medidas com maior impacto direto na redução de emissões, dado o peso significativo da embalagem, em particular do vidro, na pegada de carbono do azeite. A redução do peso das garrafas traduz-se numa diminuição relevante das emissões associadas à produção de materiais e ao transporte. A aplicabilidade é elevada em empresas de maior dimensão, que possuem maior capacidade de negociação com fornecedores e escala para redesenho de embalagens.

- Incorporação de vidro reciclado

A utilização de vidro reciclado permite reduzir significativamente as emissões associadas à produção de novas embalagens, devido à menor necessidade de

energia no processo industrial. Esta medida apresenta elevado potencial de mitigação e tende a tornar-se progressivamente estruturante até 2050.

- Substituição por outros formatos (ex.: *bag-in-box*)

Alternativas ao vidro podem reduzir substancialmente a pegada carbónica por litro de azeite, sobretudo em mercados específicos. No entanto, a aceitação do consumidor e o posicionamento do produto condicionam a sua adoção, sendo mais relevante em segmentos menos premium.

Energia

- Eficiência energética da linha

A melhoria da eficiência dos equipamentos de enchimento, rotulagem e embalagem permite reduzir o consumo energético por unidade produzida. O impacto é maior em unidades industriais de maior escala.

- Monitorização energética

Permite identificar ineficiências e otimizar processos. Trata-se de uma medida transversal, com elevada relevância em todas as dimensões empresariais.

- Autoconsumo fotovoltaico

Apresenta elevado potencial de redução de emissões ao substituir eletricidade da rede. A sua viabilidade é particularmente elevada em instalações com consumo regular e previsível, como as linhas de enchimento.

Materiais auxiliares

- Redução de materiais de rotulagem

A simplificação de rótulos, cápsulas e embalagens secundárias contribui para a redução de emissões associadas a materiais e transporte, embora com impacto inferior ao da embalagem primária.

- Materiais recicláveis/biodegradáveis

Contribuem para a redução de impactos ao longo do ciclo de vida, especialmente na fase de fim de vida, embora o impacto direto na fase *cradle-to-gate* seja mais limitado.

- Otimização do embalamento secundário

A melhoria da eficiência na utilização de caixas e paletes reduz emissões associadas ao transporte e materiais, com impacto moderado.

Na fase de engarrafamento e rotulagem, as principais oportunidades de redução de emissões concentram-se na otimização da embalagem, que representa uma parcela significativa da pegada de carbono do produto final, em particular no caso do vidro. Medidas como a redução do peso das embalagens e a incorporação de materiais reciclados apresentam elevado potencial de mitigação. Paralelamente, a melhoria da eficiência energética e a adoção de energias renováveis contribuem para a redução das emissões associadas ao processo produtivo. A dimensão da empresa assume um papel relevante, sendo que as unidades de maior escala apresentam maior capacidade de implementação destas soluções, enquanto nas empresas de menor dimensão a adoção pode ser mais gradual.

Embalagem = principal fonte de emissões nesta fase

Vidro = maior hotspot

Grandes empresas → maior capacidade de transformação

Pequenas empresas → adoção mais gradual

Energia → importante, mas secundária face à embalagem

Potencial de Redução de GEE por medida aplicada na fase de armazenamento

Na fase de armazenamento, as emissões de gases com efeito de estufa estão predominantemente associadas ao consumo de energia elétrica, em particular para climatização e operação das instalações. As principais oportunidades de redução concentram-se na melhoria da eficiência energética, na otimização dos sistemas de climatização e na adoção de energias renováveis. Embora o potencial de redução nesta fase seja inferior ao observado nas etapas de produção agrícola e transformação, a sua relevância não deve ser negligenciada, sobretudo em operações de grande escala e com armazenamento prolongado.

Energia

A eficiência energética constitui uma das principais oportunidades de redução de emissões na fase de armazenamento, sobretudo em instalações com consumo contínuo de eletricidade. A substituição de equipamentos por soluções mais eficientes, como iluminação LED ou sistemas automatizados, permite reduzir o consumo energético com investimentos relativamente acessíveis.

A monitorização energética assume um papel fundamental, permitindo identificar consumos anómalos e otimizar o funcionamento das instalações. Trata-se de uma medida transversal, com elevada relevância em empresas de média e grande dimensão.

A instalação de sistemas de autoconsumo fotovoltaico apresenta elevado potencial de mitigação, ao reduzir a dependência da eletricidade da rede. Esta solução é particularmente eficaz em armazéns com perfis de consumo estáveis ao longo do ano.

Climatização

A climatização é um dos principais fatores de consumo energético nesta fase, uma vez que a conservação da qualidade do azeite exige controlo de temperatura. A otimização dos sistemas de climatização, através de ajustes operacionais ou da implementação de sistemas mais eficientes, permite reduzir significativamente os consumos energéticos.

A melhoria do isolamento térmico das instalações contribui para a redução das necessidades de climatização, aumentando a eficiência global do sistema. Esta medida é especialmente relevante em instalações mais antigas.

Operação e logística

A redução dos tempos de armazenamento pode contribuir para a diminuição do consumo energético associado à climatização, embora o seu impacto seja relativamente limitado face a outras medidas estruturais.

A otimização da gestão de stocks permite melhorar a eficiência operacional e reduzir movimentações desnecessárias, com impacto indireto no consumo energético.

Digitalização

A adoção de sistemas digitais de gestão de armazém (WMS) e sensores IoT permite melhorar o controlo das condições de armazenamento e otimizar o uso de energia. Estas soluções assumem maior relevância em operações de maior escala, onde a complexidade operacional é mais elevada.

5.2 Benefícios Associados (Económicos, Sociais e Ambientais)

A descarbonização do setor olivícola não constitui apenas uma resposta às exigências climáticas, representado também uma oportunidade estratégica para reforçar a competitividade, a sustentabilidade e o valor económico e social gerado ao longo da cadeia do azeite.

Conforme apresentado na Figura 17, a descarbonização do setor gera benefícios que se distribuem pelas dimensões económica, social e ambiental:



Figura 17 - Benefícios associados à descarbonização do setor olivícola nas dimensões económica, social e ambiental.

Fonte: Elaboração própria.

5.2.1 Benefícios Económicos

A transição para a neutralidade carbónica do setor olivícola poderá melhorar o seu desempenho económico, através do aumento da eficiência produtiva, da redução

de custos operacionais e da criação de novas oportunidades de mercado. A descarbonização está associada à modernização dos sistemas produtivos e à incorporação de inovação tecnológica, traduzindo-se em ganhos significativos de eficiência ao longo da cadeia de valor.

Esta perspetiva está alinhada com o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050, que associa a transição para uma economia de baixo carbono à promoção da inovação tecnológica e ao crescimento económico sustentável com impactos positivos no emprego e no bem-estar.

Neste contexto, a melhoria da eficiência produtiva assume um papel central, na medida em que permite produzir mais com menos recursos, reduzindo a intensidade carbónica da produção e os desperdícios associados aos processos produtivos. Este aumento de eficiência está interligado com a implementação de tecnologias como a agricultura de precisão, a digitalização e a monitorização em tempo real, que permitem uma gestão mais eficiente dos fatores de produção, nomeadamente água, energia e insumos, contribuindo para uma utilização mais eficiente dos recursos e para a redução de desperdícios, através de práticas de economia circular.

Ao nível da transformação, a modernização dos lagares tem igualmente contribuído para ganhos significativos de eficiência. A introdução de equipamentos mais eficientes, sistemas de monitorização energética e processos contínuos de extração permite otimizar o consumo de energia e melhorar o desempenho produtivo (Murcho et al., 2016; OLIVUM 2024; CIRCOLIVE, 2024).

Simultaneamente, a descarbonização contribui para a redução dos custos operacionais, constituindo um dos principais incentivos à sua adoção. A implementação de medidas de eficiência energética e a integração de fontes de energia renovável permitem reduções significativas nos custos energéticos.

A título de exemplo, destacam-se as seguintes medidas:

- Integração de energias renováveis (solar fotovoltaica);
- Substituição de caldeiras convencionais por sistemas de biomassa;
- Adoção de sistemas de extração de duas fases;
- Melhoria do isolamento térmico e ventilação natural.

Medida	Impacto energético	Impacto económico	
Melhoria do isolamento térmico e ventilação natural dos edifícios	Redução de 33% – 60%	↓	Redução dos custos
Integração de sistema solar (fotovoltaico)	Redução de 50 – 70%		
Adoção de sistemas de extração de duas fases	Redução de aproximadamente 20%		
Substituição das caldeiras convencionais por sistemas de biomassa	Redução do custo energético (46€/MWh → 13€/MWh)		

Figura 18 - Exemplos de redução de custos operacionais associadas à eficiência energética

Fonte: Adaptado de Murcho et al. (2016).

Conforme apresentado na tabela anterior, estas medidas permitem reduções significativas nos custos energéticos, evidenciando que a descarbonização apresenta benefícios económicos diretos, ao promover simultaneamente a eficiência energética e a redução da dependência de fontes de energia fósseis.

Outro benefício económico relevante prende-se com a valorização de subprodutos do setor. O bagaço e o caroço da azeitona podem ser utilizados como fonte de energia (biomassa), matéria-prima para compostagem ou para o desenvolvimento de novos produtos de valor acrescentado. Esta valorização poderá contribuir não só para a redução de custos energéticos, mas também para a criação de novas fontes de rendimento, promovendo a diversificação económica das empresas do setor.

Neste contexto, a descarbonização configura uma situação “win-win”, na medida em que permite simultaneamente reduzir custos e emissões, aumentando a eficiência operacional.

Para além dos ganhos de eficiência e redução de custos, a descarbonização constitui um fator determinante para o reforço da competitividade do setor olivícola. A crescente exigência dos mercados em matéria de sustentabilidade, associada à valorização de produtos com menor pegada carbónica, cria oportunidades para posicionar o azeite português em segmentos de maior valor acrescentado. A adoção de práticas sustentáveis (Cap. 4) permite diferenciar o produto, reforçar a reputação do sector e facilitar o acesso a novos mercados.

O volume de negócios da fileira do azeite em Portugal tem-se mantido em níveis elevados nos últimos anos, com um peso significativo na produção agrícola nacional. Considerando a média do triénio 2020-2022, ultrapassou os 850 milhões de euros, representando cerca de 10% da produção agrícola nacional (CEPAAL, 2024). De acordo com o INE (Estatísticas Agrícolas, 2025), a produção atingiu valores próximos de 179 mil toneladas em 2024. As previsões para 2025 apontam para uma produção na ordem das 140 mil toneladas, correspondendo a uma redução de cerca de 20% face ao ano anterior. Contudo, o setor contribui

positivamente para a balança comercial, apresentando saldo um positivo, sustentando pelo crescimento consistente das exportações.

Por fim, a descarbonização constitui um importante motor de inovação e criação de valor no sector. A necessidade de reduzir emissões GEE tem impulsionado a adoção de novas tecnologias, a digitalização dos processos produtivos e o desenvolvimento de novos modelos de negócio baseados na economia circular, contribuindo para a modernização e competitividade do sector (CIRCOLIVE, 2024).

5.2.2 Benefícios Sociais

No que respeita à dimensão social, a literatura não é totalmente clara quanto à existência de benefícios diretos da descarbonização do setor olivícola, sobretudo quando analisada de forma isolada. No entanto, a literatura evidencia que a transição para sistemas de baixo carbono está associada a múltiplos cobenefícios sociais, nomeadamente a melhoria da saúde pública, uma vez que a redução da poluição e a reorganização dos sistemas produtivos contribuem simultaneamente para a mitigação das alterações climáticas e para a melhoria do bem-estar das populações (OECD, 2025).

No contexto do Pacto Ecológico Europeu e do Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050, os benefícios sociais são igualmente associados à criação de emprego, à melhoria do bem-estar, ao reforço da coesão territorial e à promoção de uma transição socialmente justa. Embora muitos destes benefícios sejam de natureza indireta, resultam da transformação estrutural dos sistemas produtivos e da implementação de práticas mais sustentáveis.

Numa perspetiva de sustentabilidade aplicada ao setor em Portugal, verificam-se igualmente diversos benefícios sociais relevantes, ainda que nem sempre

diretamente associados ao conceito de descarbonização. A literatura evidencia contributos como a criação de emprego mais qualificado e o reforço do desenvolvimento das comunidades rurais, refletindo a interligação entre as dimensões económica, ambiental e social da sustentabilidade.

No setor olivícola português, estes efeitos são particularmente relevantes, dado o papel estratégico da olivicultura nas regiões rurais, nomeadamente no Alentejo e em Trás-os-Montes, onde desempenha um papel central na dinamização económica e na fixação da população (AGRO.GES, 2022).

A criação e manutenção de emprego constitui um dos principais benefícios sociais. Apesar do aumento da mecanização, o setor continua a gerar volumes significativos de emprego direto e indireto, abrangendo atividades agrícolas, industriais e logísticas. (AGRO.GES, 2022). A descarbonização poderá reforçar esta dinâmica, através da criação de novas oportunidades associadas à inovação tecnológica, à transição energética, à agricultura de precisão e à economia circular, exigindo simultaneamente maior qualificação da mão de obra. Este processo poderá contribuir para a fixação e atração de população nas regiões rurais.

A melhoria da qualidade ambiental constitui outro benefício social relevante. A redução das emissões de GEE e adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis contribuem para a proteção dos recursos naturais, com impactos positivos na saúde pública e no bem-estar das populações. A nível global, a mitigação das alterações climáticas contribui ainda para reduzir riscos associados a fenómenos extremos, como ondas de calor e secas, com implicações diretas na qualidade de vida.

Adicionalmente, a crescente valorização da sustentabilidade por parte dos consumidores contribui para melhorar a perceção social do setor olivícola. A adoção de práticas de descarbonização reforça a confiança nos produtos e nas empresas, contribuindo para o reforço da reputação do setor.

Assim sendo, a transição para a neutralidade carbónica do setor não contribui apenas para os objetivos ambientais, como também promove benefícios sociais significativos, ao dinamizar as economias locais, criar emprego, melhorar a qualidade de vida e reforçar a coesão territorial, assumindo-se como um vetor para o desenvolvimento sustentável das regiões rurais.

6. Instrumentos de Apoio e Financiamento

Entre os principais sistemas de incentivos encontram-se:

- SITCE – Sistema de Incentivos à Transição Climática e Energética;
- SICE – Sistema de Incentivos à Competitividade Empresarial;
- Sistema de Incentivos de Base Territorial.

Estes instrumentos apoiam projetos empresariais com impacto económico e ambiental.

O SITCE apoia projetos que contribuem para:

- Eficiência energética;
- Redução de emissões;
- Modernização tecnológica;
- Transição para processos produtivos de baixo carbono.

Exemplos de investimentos apoiados pelo SITCE:

- Substituição de equipamentos industriais por tecnologias mais eficientes;
- Otimização térmica de processos;
- Eletrificação de processos produtivos;
- Implementação de sistemas de gestão energética.

No sistema de incentivos à transição climática e energética são apoiadas as seguintes tipologias de intervenção:

- a) «Descarbonização das empresas»;
- b) «Diversificação da produção de energia a partir de fontes de energia renovável»;
- c) «Economia circular».

SITCE - Descarbonização das Empresas

Tipologias de operação:

a) «Eficiência Energética e Descarbonização» – apoio à redução dos consumos de energia e das emissões de GEE, nomeadamente através da substituição, adaptação ou introdução de equipamentos, processos e tecnologias de baixo carbono, e, de forma complementar, da incorporação de fontes de energia renovável;

b) «Investimento Produtivo Verde», que visa o apoio ao desenvolvimento de novos produtos, processos e serviços de baixo carbono e inovadores, nomeadamente através da incorporação de novas matérias-primas e de novos processos e tecnologias, promovendo a sustentabilidade, a redução do consumo de recursos e o incremento da introdução de materiais recuperados nos processos produtivos e o uso eficiente de recursos;

c) «Qualificação Verde das PME», que visa apoiar domínios imateriais de competitividade focados em questões relacionadas com a temática da transição climática e energética, tais como a inovação organizacional, de gestão e logística sustentável, a digitalização e a transformação digital, a capacitação para o desenvolvimento de produtos, serviços e processos sustentáveis (ecoinovação), a qualidade e certificação, o ecodesign; ou a transferência de conhecimento e tecnologia.

Tipologias	Taxas Máximas de Financiamento
Eficiência Energética e Descarbonização	Intervenções que não sejam em edifícios - 100 % Intervenções em edifícios - 50%
Investimento Produtivo Verde	50%
Qualificação Verde das PME	50%

SITCE - Diversificação da Produção de Energia a Partir de Fontes de Energia Renovável

Despesas Elegíveis

a) Ativos corpóreos, incluindo a aquisição e instalação de equipamentos e sistemas de produção de energia renovável; a adaptação de equipamentos para uso de fontes de energia renováveis; e a instalação de sistemas de armazenamento de energia renovável;

b) Ativos incorpóreos, incluindo a transferência de conhecimento tecnologia através da aquisição de direitos de patentes, nacionais e internacionais, licenças, conhecimentos técnicos não protegidos por patente, e software;

c) Outras despesas de investimento, incluindo despesas com a intervenção de contabilistas certificados; estudos, diagnósticos e auditorias, designadamente energéticas e certificações.

Tipologia	Taxas Máximas de Financiamento
Produção de energia renovável	50%

Entidades que se podem candidatar

São beneficiárias empresas de qualquer dimensão.

SITCE - Sistema de Incentivos à Transição Climática e Energética

Aplicação ao setor oleícola

No setor do azeite, estes investimentos podem incluir:

- Modernização energética de linhas de extração;

- Otimização de processos industriais;
- Monitorização digital de consumos energéticos;
- Melhoria da eficiência em sistemas de bombagem.

O SICE apoia projetos destinados a:

- Inovação produtiva;
- Modernização tecnológica;
- Aumento da capacidade produtiva;
- Digitalização empresarial.

SICE – Inovação produtiva

Operações individuais de investimento produtivo em atividades inovadoras, promovidas por PME

Tipologia de Ações:

1. A criação de um novo estabelecimento;
2. O aumento da capacidade de um estabelecimento já existente;
3. A diversificação da produção de um estabelecimento para produtos não produzidos anteriormente no estabelecimento;
4. A alteração fundamental do processo global de produção de um estabelecimento existente.

Despesas Elegíveis:

Ativos Corpóreos:

- Custos de aquisição de máquinas e equipamentos;
- Custos de aquisição de equipamentos informáticos, incluindo o software necessário ao seu funcionamento.

Ativos Incorpóreos:

- Transferência de tecnologia através da aquisição de direitos de patentes, nacionais e internacionais;
- Licenças, conhecimentos técnicos não protegidos por patente;
- Software standard ou desenvolvido especificamente para determinado fim.

Outras despesas de investimento, até ao limite de 20% do total das despesas elegíveis do projeto:

- Despesas com a intervenção de TOC ou ROC, até ao limite de 5.000 euros;
- Serviços de engenharia relacionados com a implementação do projeto;
- Estudos, diagnósticos, auditorias, planos de marketing e projetos de arquitetura associados à operação.

Investimento Mínimo: 300.000€

Financiamento:

Territórios Baixa Densidade	Outros Territórios
<p>Máximo: 40% - 50% Incentivo (Subs Não Reembolsável)</p> <p>Taxa Base: 25 p.p. para médias empresas e 30 p.p. para micro e pequenas empresas</p> <p>Majorações:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Prioridades de políticas setoriais e/ou territoriais - de 5 p.p. a 10 p.p. pelo contributo no âmbito da «Indústria 4.0» e «Transição Climática» - Criação de emprego qualificado - atribuída em função do número de postos de trabalho qualificados criados (2 p.p. a 5 p.p.) - Capitalização PME - 5 p.p. a atribuir a operações cuja componente privada seja financiada maioritariamente por capitais próprios 	<p>Máximo: 40%- 50% Sendo que destes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 50% Subs Não Reembolsável - 50% Reembolsável através de Instituições de Crédito (nota: uma parte poderá ser convertido em NR de acordo com os indicadores de desempenho no projeto)

SICE - Inovação Produtiva

Aplicação ao setor do azeite

Exemplos de investimentos:

- Renovação de maquinaria de lagar;
- Automação de processos de extração;
- Melhoria da eficiência produtiva;
- Expansão da capacidade de transformação.

Sistema de Incentivos de base territorial

Entidades que se podem candidatar: Micro e Pequenas empresas com CAE enquadrável no respetivo território

- Criação de micro e pequena empresas, correspondendo estratégias de investimento em empresas com menos de 3 anos de atividade à data de submissão da candidatura;
- Expansão ou modernização de micro e pequenas empresas, com pelo menos 3 anos de atividade à data de submissão da candidatura.

Despesas Elegíveis

- **Ativos corpóreos**, incluindo a aquisição de máquinas e equipamentos bem como a aquisição de equipamentos informáticos, incluindo o software necessário ao seu funcionamento;
- Em casos devidamente justificados pelo objetivo da operação, as operações podem ainda incluir a **construção de edifícios, obras de remodelação e outras construções** (60% máx.);

- **Ativos incorpóreos**, incluindo a transferência de tecnologia através da aquisição de direitos de patentes, licenças e software standard ou desenvolvido especificamente para determinado fim;
- **Auditorias** para certificação/ normalização, planos de marketing, serviços de engenharia relacionados e essenciais à implementação do projeto de investimento;
- Custos de serviços de **consultoria** especializados e intervenção de **contabilistas** certificados;
- Custos associados à certificação de produtos, processos ou serviços, custos de conceção e registo de novas marcas.

7. Barreiras e Oportunidades

A transição para a neutralidade carbónica no setor olivícola implica uma transformação dos sistemas produtivos, das tecnologias utilizadas e das práticas de gestão ao longo de toda a cadeia de valor.

Neste contexto, a descarbonização do setor não deve ser entendida apenas como uma exigência regulatória decorrente das políticas climáticas nacionais e europeias, mas também como uma oportunidade estratégica para promover a modernização tecnológica, melhorar a eficiência no uso de recursos e reforçar a competitividade dos produtos nos mercados.

Com base na análise da documentação estratégica relevante para a descarbonização, foi construído um diagrama conceptual (Figura 1) que permitiu identificar, sistematizar e agrupar os principais elementos associados às oportunidades e desafios (barreiras).

Neste âmbito, destacam-se como principais barreiras estruturais:

- Condicionantes financeiras das PME, associadas ao investimento necessário em tecnologias de baixo carbono;
- Complexidade regulamentar e administrativa, que pode dificultar a implementação de soluções;
- Limitações ao nível do conhecimento técnico e da capacidade organizacional, limitando a adoção de práticas sustentáveis.

Paralelamente, o setor apresenta um conjunto de oportunidades, nomeadamente:

- Acesso a financiamento europeu e nacional, viabilizando investimentos em inovação e modernização tecnológica nas empresas;

- Eficiência energética e integração de energias renováveis, contribuindo para a redução dos custos operacionais e da dependência de combustíveis fósseis;
- Agricultura de precisão, digitalização e aproveitamento de subprodutos, permitindo otimizar recursos, reduzir emissões e aumentar a rentabilidade.



Figura 19 - Principais oportunidades e barreiras associadas à descarbonização do setor olivícola

Fonte: Elaboração própria a partir da análise do *Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050* (2019), do *Plano Nacional Energia e Clima 2030* (2019), da *Estratégia Nacional para a Bioeconomia Sustentável*, do *EcoEconomy 4.0* (2021) e do *Plano Estratégico da PAC 2023–2027 (PEPAC Portugal)* (2022), *Associação Check-IN – Cooperação e Desenvolvimento*. (2024). *D2.1 National Report on current situation in the olive oil sector – Portugal. Projeto CIRCOLIVE – Developing skills for introducing circular business models and digital technologies in olive oil sector, Plano de Ação para a Economia Circular em Portugal* (2017) – Consulta Pública.

7.1 Barreiras Regulamentares, Financeiras, Culturais e Organizacionais

No processo de transição para a neutralidade carbónica, as empresas do setor olivícola podem ser confrontadas com um conjunto de desafios que condicionam a implementação de medidas de descarbonização.

De um modo geral, a legislação, o enquadramento regulamentar, bem como as questões económicas são apontadas como alguns dos obstáculos ao avanço da descarbonização nas empresas. A literatura indica que a transição para uma economia de baixo carbono está associada à melhoria dos instrumentos regulamentares e à criação de condições adequadas de financiamento.

Assim sendo, as barreiras podem assumir diferentes dimensões, incluindo fatores regulamentares, financeiras e organizacionais, bem como limitações associadas ao conhecimento técnico e à capacidade de inovação tecnológica.

a) Barreiras regulamentares

A complexidade do enquadramento legislativo e regulamentar constitui uma das barreiras à adoção de práticas de descarbonização. Em alguns casos, a existência de procedimentos administrativos exigentes ou de enquadramentos legais pouco claros pode aumentar os custos da implementação de soluções sustentáveis e reduzir a atratividade do investimento em soluções de baixo carbono por parte das empresas. A título de exemplo, em casos de processos de licenciamento associados à economia circular, como a reutilização de subprodutos podem ser longos e complexos, criando dificuldades sobretudo para pequenos e médios produtores.

Apesar disso, têm-se verificado avanços na simplificação de processos administrativos. Um exemplo relevante, resultou das orientações da Agência

Portuguesa do Ambiente (Despacho 151/MAEN/2025, do Ministério do Ambiente e Energia), que clarifica que o caroço da azeitona pode ser considerado subproduto, desde que cumpra determinados critérios estabelecidos do regime geral de gestão de resíduos, permitindo a sua valorização em biomassa ou compostagem.

b) Barreiras financeiras

As barreiras financeiras constituem outro fator crítico à implementação de medidas de descarbonização. Esta transição para modelos de baixo carbono requer frequentemente investimentos iniciais significativos, nomeadamente, a instalação de sistemas de energia renovável, a modernização de maquinaria agrícola por equipamentos mais eficientes, a adoção de tecnologia destinadas à valorização de subprodutos, como sistemas de produção de bioenergia ou soluções de compostagem, entre outras.

Para muitas empresas, especialmente PME, os custos associados à descarbonização podem ser desproporcionais face à sua capacidade financeira. Adicionalmente, estas enfrentam frequentemente dificuldades no acesso ao financiamento, bem como falta de informação, apoio técnico e recursos humanos necessários para planear e implementar este tipo de investimento.

Embora existam diversos instrumentos de apoio financeiro, como PRR, FEADER e outros fundos europeus destinados à transição climática, o acesso a estes mecanismos pode ser burocrático e tecnicamente exigente para as PMEs (AEP, 2021; Associação Check-IN, 2024).

Assim, a literatura destaca como principais constrangimentos a limitada capacidade de investimento das PME, e a dificuldade de acesso a financiamento especializado para projetos de inovação climática (AEP, 2021).

c) Barreiras culturais e organizacionais

Para além das limitações regulamentares e financeiras, a transição para a neutralidade carbónica enfrenta desafios de natureza cultural e organizacional (tecnológicos e conhecimento).

O setor agrícola caracteriza-se frequentemente por estruturas produtivas tradicionais e por uma forte ligação a práticas agrícolas transmitidas entre gerações, o que pode dificultar a adoção de novas abordagens de tecnológicas e sustentáveis.

Muitas empresas não dominam plenamente os conceitos associados à descarbonização e à transição energética, nem dispõem de capacidade técnica para desenvolver estratégias estruturadas nesta área (AEP, 2021). A adoção de práticas sustentáveis implica uma mudança de paradigma na gestão agrícola, com maior integração de critérios ambientais e climáticos.

A literatura destaca também as limitações na disseminação de conhecimento técnico em áreas como a economia circular, nomeadamente na gestão e valorização de subprodutos (compostagem, bioenergia, e tecnologias de reutilização de resíduos). As empresas referem ainda dificuldades no acesso a informação atualizada e a apoio técnico especializado para integrar estas soluções nas suas operações.

7.2 Oportunidades de inovação tecnológica, mercado e financiamento

Por outro lado, a descarbonização não deve ser encarada apenas como um desafio, mas como uma oportunidade estratégica de criação de valor, diferenciação e reforço de competitividade do setor.

Neste contexto, importa destacar um conjunto de catalisadores desta transição, nomeadamente a inovação tecnológica, os instrumentos financeiros e o mercado.

a) Oportunidades de Inovação tecnológica e mercado

O setor olivícola apresenta um elevado potencial de inovação tecnológica ao longo da cadeia de valor, desde a produção agrícola até à transformação industrial. A título de exemplo, destacam-se soluções de agricultura de precisão, que permitem otimizar o uso de recursos e reduzir emissões de GEE, estando alinhadas com os principais drivers de descarbonização da agricultura identificados no RNC 2050.

A nível industrial, a inovação passa por exemplo pela digitalização e eficiência energética dos lagares, nomeadamente:

- Sistemas de monitorização energética em tempo real;
- Otimização de processos industriais através de tecnologias de Indústria 4.0;
- Utilização de imagens de satélite, drones e modelos preditivos para apoio à decisão.

Paralelamente, a valorização de subprodutos, como o bagaço da azeitona e os caroços, constitui uma oportunidade estratégica no contexto da bioeconomia. Ao longo da cadeia de valor da produção de azeite, são produzidos diversos resíduos, resultantes não só de perdas associadas a pragas, como a mosca da azeitona, mas também das operações de colheita, transporte e transformação.

Neste contexto, estes subprodutos podem ser integrados em outros setores, promovendo a diversificação de usos e o acesso a novos mercados, através da produção de bioenergia, biocombustíveis e compostagem.

De acordo com o Plano de Ação para a Bioeconomia Sustentável em Portugal, a bioeconomia, assume um dos papéis centrais na inovação do setor, promovendo o desenvolvimento de novas cadeias de valor baseadas em recursos biológicos, nomeadamente através de:

- Inovação na produção, através da utilização IoT, inteligência artificial, robótica, sensores e tecnologias de precisão;
- Inovação nos processos, incluindo digitalização, biotecnologia, nanotecnologia e blockchain;
- Desenvolvimento de bioprodutos de valor acrescentado como alimentos funcionais, fertilizantes orgânicos e biopesticidas.

Como exemplo, destaca-se processo **Soil Life**, uma metodologia sustentável destinada a reduzir a fitotoxicidade do bagaço de azeitona. Este processo utiliza apenas água e aquecimento (ligeiro), permitindo transformar este subproduto num substrato agrícola com valor comercial em diversos setores, como a indústria alimentar e cosmética.

De acordo com o RNC 2050, a descarbonização apresenta impactos positivos não só na redução das emissões de GEE, mas também na dinamização económica, criação de emprego e desenvolvimento de novos modelos de negócios, associados à modernização industrial, à economia circular e às energias renováveis, etc.

b) Oportunidades de Financiamento

Para além das oportunidades tecnológicas e ambientais, a transição é também acompanhada por um conjunto de instrumentos de financiamento, destinados a

apoiar as empresas nos investimentos necessários à descarbonização e modernização do setor.

Estes instrumentos visam viabilizar projetos, nomeadamente de inovação, transição energética, economia circular, contribuindo diretamente para a redução das emissões de GEE. Entre os principais mecanismos destacam-se fundos comunitários e programas europeus (PRR, Portugal 2030, Fundo Ambiental, PEPAC), que desempenham um papel relevante na redução das barreiras financeiras identificadas, permitindo às empresas investir em tecnologias de baixo carbono, nomeadamente as energias renováveis, modernização de maquinaria e adoção de soluções de valorização de subprodutos.

Deste modo, a integração de **inovação tecnológica, valorização de subprodutos, instrumentos de financiamento e estratégias de descarbonização** pode contribuir para reforçar a competitividade do setor olivícola e para posicionar o azeite em segmentos de mercado de maior valor acrescentado.

7.3 Integração com certificação e rotulagem sustentáveis

A integração de sistemas de certificação tem vindo a assumir um papel crescente na promoção da sustentabilidade no setor agroalimentar, contribuindo simultaneamente para o reforço da confiança dos *stakeholders*, promovendo a transparência e a credibilidade das práticas empresariais. Estes sistemas facilitam o acesso a novos mercados e cadeias de abastecimento cada vez mais exigentes em matéria de sustentabilidade.

Estes instrumentos permitem avaliar, monitorizar e comunicar de forma transparente o desempenho ambiental, a eficiência energética, a pegada de carbono e a adoção de práticas agrícolas sustentáveis. Na tabela seguinte

apresentam-se alguns exemplos de certificações e normas relevantes para o setor olivícola.

Categoria	Certificação / Norma	Descrição
Certificação de carbono	ISO 14067, <i>GHG Protocol</i>	Norma internacional para quantificação da pegada de carbono de produtos
	<i>Carbon Trust Certification</i>	Certificação com rótulo de pegada de carbono verificada
Sistema de gestão ambiental	ISO 14001	Sistema de gestão ambiental para organizações
Sistema de gestão de energia	ISO 50001	Sistema de gestão de energia
Certificações agrícolas sustentáveis	GlobalG.A.P.	Certificação de boas práticas agrícolas
	<i>EU Organic Certification</i>	Certificação de agricultura biológica
	Produção Integrada (PRODI)	Sistema nacional de produção agrícola sustentável

Figura 20 - Exemplo de Certificações e Normas relevantes para a sustentabilidade do setor olivícola

Fonte: Elaboração própria.

Entre os principais instrumentos aplicáveis às empresas destacam-se as certificações ambientais. A norma ISO 14001 estabelece requisitos para a implementação de sistemas de gestão ambiental nas organizações, permitindo avaliar, monitorizar, e melhorar o seu desempenho ambiental, e por sua vez diminuindo a sua pegada ambiental. Quanto à norma ISO 50001, promove a melhoria da eficiência no uso de recursos naturais, assumindo um papel relevante na gestão eficiente da energia das empresas.

No domínio da quantificação das emissões de GEE, destaca-se a ISO 14067 e metodologias associadas ao GHG Protocol, que permitem avaliar a pegada de

carbono dos produtos ao longo do seu ciclo de vida. Paralelamente, o mercado oferece algumas iniciativas como a *Carbon Trust Certification* que possibilitam a comunicação destes resultados através de rótulos verificados, reforçando a transparência e a credibilidade ambiental junto dos *stakeholders*.

Adicionalmente, certificações agrícolas sustentáveis, como o GlobalG.A.P., a *EU Organic Certification* e os sistemas de Produção Integrada (PRODI) promovem a adoção de boas práticas agrícolas, a redução do uso de insumos químicos e a melhoria da eficiência no uso de recursos. Algumas destas certificações, nomeadamente a *EU Organic Certification* e a Produção Integrada, podem ser comunicadas aos consumidores através da rotulagem dos produtos, permitindo evidenciar a adoção de práticas agrícolas sustentáveis.

Neste contexto, a integração de certificações e sistemas de rotulagem sustentável representa uma oportunidade estratégica para o setor olivícola, permitindo não apenas melhorar o desempenho ambiental das empresas, mas também reforçar a competitividade do azeite nos mercados internacionais. Por outro lado, estes instrumentos contribuem para alinhar as empresas com as crescentes exigências regulamentares e de mercado em matéria de sustentabilidade.

9. Conclusão

- O roteiro evidencia que a fase agrícola (olival) é a principal responsável pelas emissões de GEE, concentrando a maior parte da pegada carbónica do sistema. A fase seguinte, correspondente à transformação em lagar, apesar de apresentar um menor peso relativo, mantém emissões significativas. Em conjunto, estes resultados reforçam a necessidade de priorizar intervenções ao longo da cadeia de valor, em particular no olival e nos lagares, onde se concentram os principais drivers de emissão e o maior potencial de redução;
- A descarbonização do setor olivícola não constitui apenas uma exigência ambiental, mas uma oportunidade estratégica para reforçar a competitividade;
- A concretização da transição para a neutralidade carbónica depende da mobilização conjunta dos diferentes agentes do setor, sendo a colaboração ao longo da cadeia de valor um fator crítico para acelerar a descarbonização;
- As soluções tecnológicas já estão disponíveis (agricultura de precisão, energias renováveis, digitalização), sendo o principal desafio a sua implementação generalizada no setor;
- A agricultura regenerativa e a promoção da circularidade emergem como soluções estruturais para reduzir emissões, melhorar a resiliência dos sistemas produtivos e reforçar a sustentabilidade do setor;
- A descarbonização está associada a barreiras, nomeadamente financeiras e relacionadas com desconhecimento das práticas de descarbonização,

particularmente nas PME, exigindo instrumentos de apoio mais acessíveis no âmbito desta transição;

- A valorização de subprodutos e a integração na bioeconomia representam uma oportunidade relevante para reduzir emissões e aceder a novos mercados.

9.1 Chamado à ação – Insights

- A concretização deste roteiro no setor olivícola exige uma atuação coordenada entre todos os *stakeholders*, sendo a colaboração ao longo da cadeia de valor um fator crítico para acelerar a descarbonização;
- O papel das políticas públicas também é determinante, sendo essencial assegurar um enquadramento regulatório estável e mecanismos de incentivo que viabilizem a implementação de soluções de baixo carbono;
- A transição para a neutralidade carbónica requer uma abordagem integrada, combinando medidas de eficiência energética, digitalização e economia circular;
- Promover a capacitação técnica e a transferência de conhecimento para facilitar a implementações de soluções inovadoras;
- Integrar a sustentabilidade como fator central de posicionamento nos mercados, através de certificação e rotulagem ambiental;
- Reforçar o acesso a financiamento e a mecanismos de apoio à transição climática, especialmente para PME.

9.2 Chamado à ação – Stakeholders

- A concretização deste Roteiro exige coordenação, liderança e visão de longo prazo;
- Aos produtores e aos lagares, compete integrar progressivamente práticas de baixo carbono e implementar soluções tecnológicas que reforcem eficiência e sustentabilidade;
- Às associações setoriais, compete dinamizar formação, disseminar boas práticas e facilitar acesso a financiamento e inovação;
- Às entidades públicas, importa assegurar estabilidade regulatória, simplificação administrativa e incentivos adequados à transição climática;
- Aos mercados e consumidores, cabe reconhecer e valorizar o esforço de descarbonização através da diferenciação positiva do azeite sustentável.

Referências Bibliográficas

AGRO.GES – Sociedade de Estudos e Projetos, Lda. (2022), *Sustentabilidade dos Olivais em Portugal – Desafios e respostas*, Príncipe Editora.

Branquinho et al. (2021), *Climate change adaptation measures in the irrigation of a super-intensive olive orchard in Southern Portugal*, *Agronomy*.

Burt (2011), *Variable frequency drive (VFD) controlled irrigation pumps*, Irrigation Training and Research Center (ITRC), California Polytechnic State University.

Chelan County Public Utility District (2012), *Irrigation pump variable frequency drive (VFD) energy savings calculation methodology*, *Technical Report*.

Comissão Europeia (2019). *The European Green Deal*.

Comissão Europeia (2020). *2030 Climate Target Plan*.

Fernandes-Silva et al. (2021), *Olive oil composition of cv. Cobrançosa is affected by regulated and sustained deficit irrigation*, *Biology and Life Sciences Forum*.

Fernandes-Silva et al. (2022), *Effect of regulated and sustained deficit irrigation on fruit growth and oil accumulation in olive cv. Cobrançosa*, *Acta Horticulturae*.

Governo de Portugal (2019). *Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050*.

Governo de Portugal (2020). *PNEC 2030 – Plano Nacional de Energia e Clima*.

INIAV; ISA (2023). *Pegada 4.0 – Referenciais de Emissões Agrícolas*.

Parlamento Europeu & Conselho (2021). *EU-ETS Phase IV Rules*.

Loureiro et al. (2023), *Energy efficiency assessment in collective irrigation systems: Water-energy nexus indicators*, *Water*.

Melgar et al. (2008), *Long-term growth and yield responses of olive trees to different irrigation management strategies*, *Agricultural Water Management*.

NSW Department of Primary Industries (s.d.), *Variable speed drives – an energy-saving option for irrigated agriculture*, *NSW DPI Technical Note*.

Santos et al. (2007), *Water use and response of a dry-farmed olive orchard recently converted to drip irrigation in Southern Portugal*, *Biosystems Engineering*.

Todde et al. (2019), *Energy and environmental performances of hybrid photovoltaic irrigation systems installed at intensive and super-intensive Mediterranean olive orchards*, *Science of the Total Environment*.

UNFCCC (2015). *Paris Agreement*.

Green Olive

