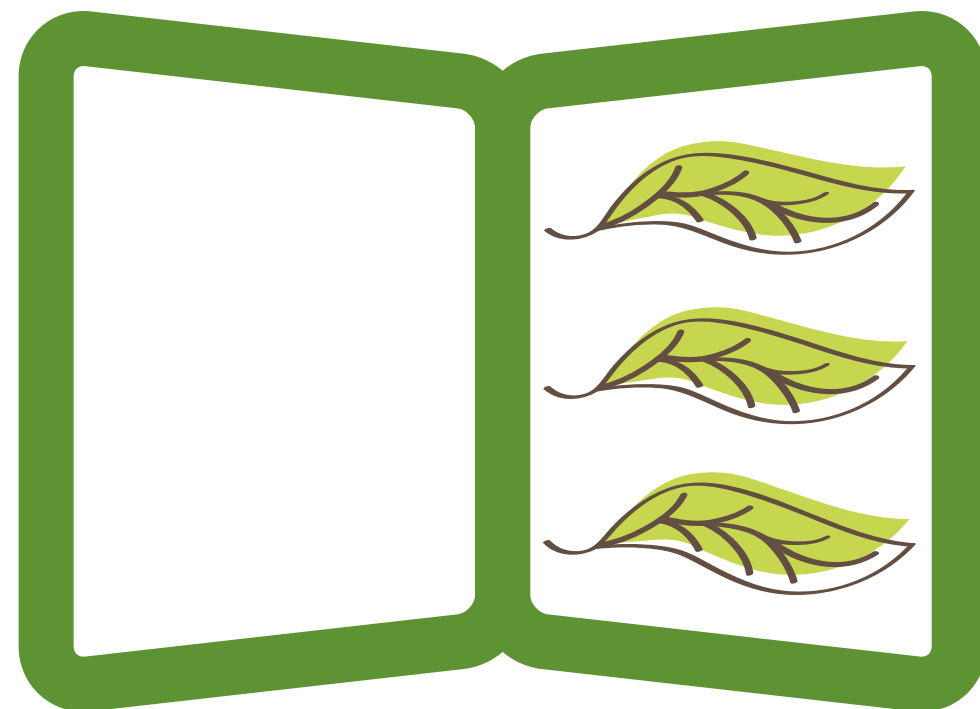




**CarboNostrum**  
CLIMATE-SMART AGRICULTURE IN A CHANGING WORLD



# Manual



Cofinanciado pelo Programa Erasmus+ da União Europeia

Este projeto 2021-1-PT01-KA220-VET-000033188 foi financiado com o apoio da Comissão Europeia. Esta publicação reflete apenas as opiniões do autor, e a Comissão/Agência Nacional não pode ser responsabilizada por qualquer uso que possa ser feita das informações nela contidas.

Parceria CarboNostrum:





KA220-VET - Parcerias de Cooperação para o Ensino e Formação Profissional

# Manual para a Adaptação da Agricultura Mediterrânea às Alterações Climáticas CarboNostrum

Contrato Nº 2021-1-PT01-KA220-VET-000033188

## Manual CarboNostrum

### AUTORES:

Gonzalo Barberá, Carlos Álvaro e Henrique Cerqueira

### Revisto por :

Francesca Poggi

Márcia Silva, Graça Gonçalves, Guilherme Bastos, Samuel Oliveira

### Grafismo:

Carlota Flieg



# Índice

<b>Resumo</b> .....	<b>8</b>
<b>Introdução</b> .....	<b>9</b>
<b>Aspetos Gerais</b> .....	<b>13</b>
Agricultura: Tendências, Impactos e Benefícios .....	<b>14</b>
Alterações climáticas: O que está a acontecer e como afeta a Agricultura no Mediterrâneo .....	<b>22</b>
Desertificação no Mediterrâneo .....	<b>33</b>
Agroecossistemas e as paisagens circundantes .....	<b>37</b>
Intensificação Agrícola e Ecológica .....	<b>40</b>
O Ciclo do Carbono em Sistemas Agrícolas .....	<b>43</b>
Mitigar Impactos e Agricultura Inteligente para o Clima (AIC) .....	<b>46</b>
Compreender a Política Agrícola Comum .....	<b>49</b>
<b>Práticas de Gestão</b> .....	<b>51</b>
Gestão de Resíduos de Culturas .....	<b>52</b>
Sebes e Arbustos .....	<b>61</b>
Rotação e Alternação de Culturas .....	<b>75</b>
Lavouira Mínima, Lavouira Nula e Pousio .....	<b>83</b>
Lavouira segundo as Curvas de Nível .....	<b>91</b>
Cultivo em Faixas .....	<b>100</b>
Associação de Culturas .....	<b>107</b>
Culturas de Cobertura .....	<b>114</b>
<b>Sequestro de Carbono em Solos Pobres e Degradados</b> .....	<b>125</b>
Práticas de Gestão e Sequestro de Carbono .....	<b>129</b>
Mobilização do Solo .....	<b>132</b>
Gestão de Resíduos .....	<b>135</b>
Culturas de Cobertura .....	<b>137</b>
Fertilização Natural e Artificial .....	<b>139</b>
Gestão de Pousio .....	<b>141</b>
Sistemas Integrados: Práticas de Agrofloresta, Pastoreio e Agro-silvopastoril .....	<b>143</b>
Ferramentas para Implementação e Monitorização .....	<b>146</b>
Serviços de Ecossistemas e Mercados de Carbono .....	<b>154</b>
<b>Conclusão</b> .....	<b>160</b>
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	<b>164</b>

## Resumo

Este manual analisa a complexa interação entre agricultura, alterações climáticas e a diversificação no Mediterrâneo, enfatizando a necessidade urgente de práticas agrícolas transformadoras. O guia fornece uma exploração profunda da Agricultura Inteligente para o Clima (AIC), uma metodologia focada em apoiar a produtividade agrícola, construindo resiliência às alterações climáticas, e minimizando as emissões dos gases do efeito estufa. O manual elabora, adicionalmente, sobre várias práticas agrícolas sustentáveis como a Política Agrícola Comum (PAC) da União Europeia, e ferramentas tais como Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para uma monitorização e implementação eficazes. Ao fornecer guias práticos e informações teóricas, este manual visa equipar os agricultores e gestores do território na região do Mediterrâneo para adotarem práticas sustentáveis, contribuindo para um futuro mais resiliente e ambientalmente responsável para a agricultura.

**Palavras-chave:** Agricultura Inteligente para o Clima, Desertificação, Agricultura Mediterrânea, Práticas Sustentáveis, Política Agrícola.

## Introdução

Nos últimos 12,000 anos, desde o período Neolítico, a agricultura tem sido a espinha dorsal da civilização. Ao longo da história, os agricultores têm desenvolvido, continuamente, práticas para assegurar o crescimento das culturas e da produção, tendo um papel central na manutenção da produtividade da terra. No entanto, é crucial manter-nos vigilantes sobre a sustentabilidade a longo prazo destas práticas e dos seus impactos ambientais. Este capítulo irá explorar os possíveis efeitos prejudiciais de certas práticas agrícolas e a necessidade premente de alternativas sustentáveis. Adicionalmente, iremos aprofundar o nexos crítico entre a agricultura e as alterações climáticas, o que requer perspetivas e abordagens novas.

Provas irrefutáveis confirmam que as alterações climáticas são uma realidade. Altamente influenciadas pela atividade humana, particularmente a emissão de Gases de Efeito de Estufa (GEE), têm o CO<sub>2</sub> como contribuidor mais significativo. A comunidade científica global concorda plenamente com esta correlação, o que tem imensas implicações tanto para a biosfera como para a humanidade. As alterações climáticas afetam profundamente o sistema agroalimentar, incluindo as culturas de produção. As flutuações nas alterações climáticas impactam diretamente a produtividade das culturas, levando a rendimentos reduzidos durante secas e outros eventos climáticos extremos. Adicionalmente, mudanças na agricultura e no uso do solo contribuem para, aproximadamente, 24% das emissões totais de gases com efeito de estufa, com adicionais 10% provenientes de atividades dentro do sistema agroalimentar, como o transporte e o empacotamento. Assim, a agricultura é um contribuidor significativo e uma vítima das alterações climáticas, sublinhando-se a necessidade emergente de sustentabilidade agrícola.

A região do mediterrâneo, caracterizada por um clima e biodiversidade distintivos, abrange 24 países e é marcada por verões quentes e secos e invernos moderados e húmidos. Embora este padrão climático tenha vindo a facilitar o desenvolvimento de uma rica biodiversidade e de práticas agrícolas específicas, também apresenta desafios significativos. Estes vão desde a disponibilidade limitada de água, devido a secas recorrentes e precipitação irregular, até solos frágeis suscetíveis à erosão, degradação e desertificação. Estes ecossistemas únicos e diversos enfrentam sérias ameaças sob o peso das alterações climáticas. Projeções climáticas atuais sugerem que esta região irá sofrer os efeitos de ondas de calor intensificadas, períodos de seca prolongados e o aumento da frequência de eventos climáticos extremos. Estas alterações representam riscos graves à estabilidade dos ecossistemas, à agricultura e às sociedades humanas dependentes destes recursos. Especificamente para a agricultura, estas alterações climáticas podem levar a mudanças nas épocas de crescimento das culturas, rendimentos reduzidos, e o aumento da prevalência de pragas e doenças. Juntamente com a existência de problemas de escassez de água, estes impactos podem prejudicar a atividade agrícola já precária na região. Dada a potencial gravidade destas alterações climáticas, é crucial tomar medidas proativas para mitigar estes riscos.

Para abordar estas questões prementes, surgiu o conceito de Agricultura Inteligente para o Clima (AIC), colocando a agricultura e atividades relacionadas dentro do contexto das alterações climáticas. A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e para a Agricultura (FAO) introduziu o conceito de Agricultura Inteligente para o Clima (AIC) em 2009, delineando três pilares principais: aumento sustentável da produtividade e dos rendimentos agrícolas, adaptação e reforço da



resiliência às alterações climáticas e redução ou prevenção das emissões de gases com efeito de estufa. Enquanto que a AIC tem atraído atenção significativa, é importante notar que a sua definição e aplicação têm enfrentado desafios, muitas vezes ligados a discussões mais abrangentes sobre sustentabilidade agrícola. Um quadro conceptual formal e ferramentas de implementação foram desenvolvidas mais tarde, mas o termo AIC já tinha ganho uso generalizado, levando a variadas interpretações e controvérsias. Em 2013, a FAO publicou um manual que descreve dois princípios fundamentais da AIC: aumentar a eficiência dos recursos nos sistemas agrícolas e reforçar a resiliência dos sistemas e pessoas envolvidas no setor agrícola.

Este manual foca-se principalmente nas práticas agrícolas sustentáveis na região do Mediterrâneo, embora possa também fornecer informações úteis para outros contextos climáticos. O termo “Mediterrâneo” refere-se tanto à área geográfica como ao tipo de clima caracterizado pela seca do verão. A área do Mediterrâneo inclui regiões como a Califórnia, o centro do Chile, partes da África do Sul, e o Sudoeste Australiano, e enfrenta desafios significativos em termos de vegetação, solos, e agricultura devido à disponibilidade limitada de água. A zona temperada amplifica os efeitos prejudiciais da seca, criando um ambiente frágil onde a manutenção da produtividade do solo a longo prazo é particularmente desafiante e instável. Dadas estas circunstâncias, adotar práticas sustentáveis torna-se ainda mais crítico quando se considera o impacto iminente das alterações climáticas que irá exacerbar problemas existentes como a disponibilidade da água, a qualidade do solo e eventos climáticos extremos.

O manual está organizado em três secções principais. A secção 1 fornece uma visão ampla dos aspetos gerais, com o objetivo de estabelecer contextos mais abrangentes da agricultura moderna, os seus impactos ambientais e a sua relação

com a paisagem envolvente. Esta compreensão é crucial para apreciar a descrição, o propósito e a eficácia das práticas agrícolas sustentáveis. A secção 2 explora as descrições detalhadas de práticas sustentáveis no contexto Mediterrâneo, com ênfase particular na AIC. Embora muitas outras práticas se inspirem nas técnicas tradicionais utilizadas há séculos, estas são aperfeiçoadas e adaptadas para incorporar perspetivas mais recentes como o ciclo do carbono, alterações climáticas e importância da biodiversidade. Cada prática segue um formato estruturado, cobrindo aspetos como o seu nome, tipo, descrição, ilustrações, efeitos na conservação dos solos e na biodiversidade, condições de implementação, recursos necessários, conceção e execução, relação com as alterações climáticas, relação com a Política de Agricultura Comum da União Europeia, e referências. A secção 3 irá debruçar-se sobre o Sequestro do Carbono em Solos Pobres e Degradados e tem como objetivo destacar algumas das técnicas inteligentes para o clima, que associam as taxas de sequestro do carbono e outros impactos na atividade agrícola. Esta secção irá cobrir a quantificação e monitorização do carbono, bem como introduzir o conceito de mercados de carbono.

Ao explorar e implementar práticas sustentáveis, adaptadas aos desafios únicos do Mediterrâneo, podemos cultivar sistemas agrícolas que não são apenas resilientes, mas também, ambientalmente responsáveis.



# ASPETOS GERAIS

## Agricultura: Tendências, Impactos e Benefícios

A agricultura remonta há cerca de 12.000 anos, marcando uma mudança significativa nas sociedades humanas desde estilos de vida nômadas de caçadores-recolectores até comunidades agrícolas sedentárias. Acredita-se que o advento da agricultura tenha sido conduzido por diversos fatores, incluindo alterações climáticas, avanços culturais, e a necessidade de fontes alimentares estáveis e fiáveis. Desde o seu início, a agricultura tem ganho importância, moldando o tecido social e cultural das civilizações a nível mundial, e continua a desempenhar um papel fundamental no mundo moderno.

Pensa-se que a agricultura teve origem independente em várias partes do mundo, incluindo o Crescente Fértil do Médio Oriente, a China, o Sudeste Asiático, as terras altas da Etiópia e as terras altas Andinas na América do Sul. Estas primeiras sociedades agrícolas anunciaram a transição de estilos de vida nômadas para estilos de vida sedentários, marcando o início de uma era caracterizada pelo estabelecimento de habitações permanentes e o desenvolvimento de estruturas sociais cada vez mais complexas.

A prática da agricultura catalisou avanços sociais significativos, incluindo a especialização do trabalho e a inovação tecnológica. Inicialmente, uma grande parte da população global estava diretamente envolvida na agricultura. No entanto, ao longo do tempo, o aumento da eficiência e da intensificação das práticas agrícolas, levaram a que menos indivíduos precisassem de cultivar. Atualmente, apesar da dependência global na produção agrícola, os agricultores são apenas cerca de um sétimo da força de trabalho mundial.

No contexto Europeu, a região do Mediterrâneo é de interesse específico. Os primeiros indícios de práticas agrícolas nesta região remontam há cerca de 8500 a.C. O clima único do Mediterrâneo, caracterizado pelos verões quentes e secos e pelos invernos húmidos e moderados, moldaram sistemas agrícolas que prosperavam nestas condições, levando ao cultivo de culturas como azeitonas, uvas, figos e vários cereais.

Estes sistemas agrícolas são parte integrante do quadro agrícola Europeu, contribuindo significativamente para o abastecimento de comida e para a economia da região. Estes representam um mosaico diversificado de sistemas de cultivo, pastorícia e agroflorestal, sustentados por milhares de anos de história agrícola e tradições culturais. Esta região é um exemplo notável de como a agricultura é capaz de moldar estruturas sociais e paisagens, com efeitos de longo alcance para além da produção alimentar, como a criação do património cultural, contribuindo para a biodiversidade, e desempenhando um papel fundamental nas dinâmicas socioeconómicas da região.

## PEGADA ECOLÓGICA E INTENSIFICAÇÃO

A extensão espacial e a influência da agricultura no nosso planeta são profundas. Estimativas atuais sugerem que as atividades agrícolas, incluindo tanto a agricultura como a pastorícia, ocupam quase 5 mil milhões de hectares de solo em todo o mundo. Isto representa uns espantosos 38% da área terrestre total do planeta, mostrando a pegada considerável das práticas agrícolas.

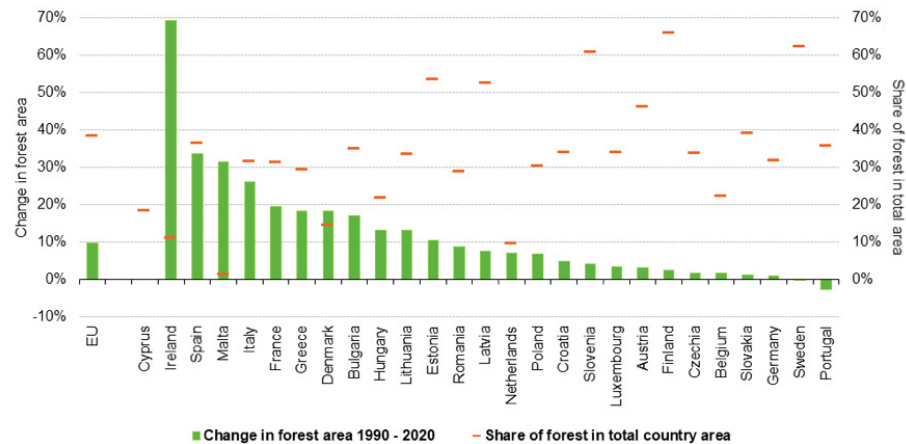
Esta área agrícola expandiu-se dramaticamente nos últimos dois séculos, com a conversão de ecossistemas naturais em terrenos agrícolas ou pastagens a ocorrer a um ritmo acelerado. Desde o século 18, temos assistido a um aumento, de quase três vezes, das terras destinadas à agricultura, alterando significativamente paisagens e ecossistemas em todo o mundo.

No entanto, uma mudança notável tem ocorrido ao longo do último meio século. Enquanto que a população global mais que duplicou, aumentando em mais de 100%, a área total do solo usado para a agricultura e pastagem expandiu menos de 10%. Esta desconexão aparente entre crescimento populacional e expansão das terras agrícolas pode ser primariamente atribuída à intensificação agrícola.

A agricultura intensiva envolve o aumento da produção de produtos agrícolas, tais como as culturas ou o gado, da mesma área de terra. Este aumento é normalmente alcançado através do uso mais eficiente dos fatores de produção, tecnologia avançada e práticas agrícolas melhoradas. Ao permitir o aumento da produção alimentar em menos solo, a intensificação agrícola tem sido fulcral para satisfazer a crescente procura global de alimentos, mesmo quando a pegada física da agricultura cresce mais lentamente.



**Forest area in the EU, 1990–2020 (%)**



Note: Data for 2020 are estimates. Data for Cyprus for 1990 are not available. Data for France refer to metropolitan France. Source: FAO, Eurostat (online data codes: for\_area\_efa and reg\_area3)



**Figura 1.** Aumento da área florestal na Europa (1990–2020). Fonte: Eurostat (2021)

No contexto das regiões Mediterrânea e Europeia, a utilização do solo agrícola e a intensificação revelam uma narrativa distinta. Ao longo das últimas décadas, a região do Mediterrâneo tem assistido a uma mudança significativa no sentido da agricultura intensiva, impulsionada pela procura do aumento da produtividade e pela satisfação das crescentes necessidades alimentares.

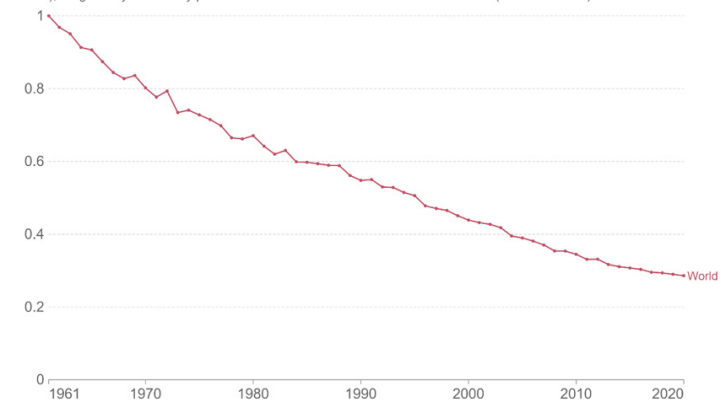
A intensificação agrícola, embora instrumental na satisfação da procura global de alimentos, tem levado a uma série de consequências ambientais que suscitam preocupações crescentes. O processo de intensificação implica, tipicamente, a simplificação de agroecossistemas tradicionais e uma maior dependência de fatores de produção externos, como fertilizantes sintéticos, pesticidas e recursos energéticos. Embora estas práticas tenham aumentado a produtividade das culturas e desempenhado um papel fundamental na atenuação da escassez de alimentos, também desencadearam uma série de desafios ambientais.

Uma dessas consequências é o consumo excessivo de recursos. Os sistemas de agricultura intensiva tendem a exigir quantidades significativas de água, energia e agroquímicos. Estas necessidades podem levar a extração excessiva de recursos hídricos, contribuindo para a escassez de água, e à utilização excessiva de energia, frequentemente associada com as emissões de gases de efeito de estufa. Adicionalmente, o uso intensivo de fertilizantes e pesticidas pode levar à degradação dos solos e à poluição da água devido ao escoamento, comprometendo, tanto a qualidade do ambiente, como a sustentabilidade das práticas agrícolas.

Para além disso, a intensificação agrícola implica muitas vezes uma mudança nas práticas agrícolas e padrões de uso do solo, incluindo monoculturas e simplificação da paisagem. Estas mudanças podem perturbar a biodiversidade local e alterar a estrutura e funcionamento dos ecossistemas. À medida que a biodiversidade diminui, também a resiliência dos ecossistemas diminui, levando, potencialmente, a uma menor produtividade e estabilidade a longo prazo.

**Arable land needed to produce a fixed quantity of crops, 1961 to 2020**

Arable land needed to produce a fixed quantity of crops is calculated as arable land divided by the crop production index (PIN). The crop production index (PIN) here is the sum of crop commodities (minus crops used for animal feed), weighted by commodity prices. This is measured as an index relative to 1961 (where 1961 = 1).



Source: Food and Agriculture Organization of the United Nations

OurWorldInData.org/land-use • CC BY

**Figura 2.** Solo arável necessário para produzir uma unidade de produção agrícola (1961 = 1; 1961–2014). Fonte: ourworldindata.org, baseado em dados da FAO (2023).

Estes problemas são particularmente pertinentes na região do Mediterrâneo, onde a paisagem agrícola já está sob pressão devido à disponibilidade limitada de água, à fragilidade dos solos, e ao aumento na variabilidade do clima. A intensificação da agricultura na região conduziu frequentemente à utilização excessiva dos recursos, à degradação do solo, e à perda de práticas agrícolas tradicionais mais conscientes da biodiversidade.

Além disso, a adoção generalizada de monoculturas, particularmente em partes do Sul da Europa, tem simplificado paisagens e perturbado a rica biodiversidade da região. Isto não só põe em perigo a flora e fauna locais, mas também prejudica a resiliência agroecológica da região, tornando-a mais vulnerável a pragas, doenças e a extremos climáticos.

Equilibrar as exigências para o aumento da produção agrícola com a urgência da conservação e resiliência ambiental é uma tarefa complexa. É necessária uma compreensão profunda dos contextos locais e uma abordagem sistémica. Este manual explora esta questão crucial, focando-se em estratégias para promover um futuro agrícola sustentável, resiliente e produtivo no Mediterrâneo e noutras regiões que enfrentam desafios semelhantes.

## O VALOR DOS SERVIÇOS DE ECOSISTEMAS

Os serviços de ecossistemas são parte integrante do bem-estar humano, estendendo-se os seus benefícios por vários aspetos das nossas vidas. Estes serviços são produtos, condições e processos que os ecossistemas naturais fornecem, beneficiando os humanos direta ou indiretamente. Podem ser classificados em quatro grandes tipos: serviços de apoio, de regulação, de aprovisionamento e culturais. (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

- Serviços de apoio são as funções ecológicas fundamentais que sustentam todos os outros serviços. Estes incluem o ciclo de nutrientes, a formação do solo e produção primária, fornecendo a produtividade básica do ecossistema da qual todas as espécies, incluindo os seres humanos, dependem.
- Os serviços de regulação referem-se aos processos naturais regulados pelos ecossistemas, como a regulação do clima, controlo de cheias, regulação de doenças e purificação da água. Por exemplo, as florestas regulam o clima através da absorção de CO<sub>2</sub>, um gás de efeito estufa, e libertando oxigénio (Foley et al., 2005).
- Serviços de aprovisionamento incluem produtos tangíveis fornecidos pelos ecossistemas, como comida, água doce, madeira, fibra e plantas medicinais. A agricultura é um exemplo primário de um serviço de aprovisionamento, fornecendo vários produtos alimentares em todo o mundo.
- Por último, os serviços culturais englobam os benefícios não materiais que as pessoas obtêm dos ecossistemas. Estes incluem prazer estético, realização espiritual, desenvolvimento intelectual, recreação e oportunidades de ecoturismo (Daniel et al., 2012).

Num estudo seminal realizado por Costanza et al. (1997), estima-se que o valor global total destes serviços de ecossistemas ultrapasse o produto nacional bruto global (PNB), sublinhando a sua tremenda importância económica.

No entanto, estes inestimáveis serviços de ecossistemas são ameaçados devido a fatores associados com a intensificação agrícola. O uso excessivo de agroquímicos pode degradar a qualidade da água e a saúde dos solos, afetando negativamente, tanto os serviços de aprovisionamento como os serviços de regulação (Matson et al., 1997). Além disso, a simplificação da paisagem - uma característica comum dos sistemas de agricultura intensivos - pode levar a uma perda de diversidade, e por isso degradando os serviços de apoio e culturais (Tscharntke et al., 2005).

Proteger e melhorar os serviços de ecossistemas não é só um problema ambiental, mas uma necessidade para a produção agrícola sustentável e para o bem-estar geral da sociedade.

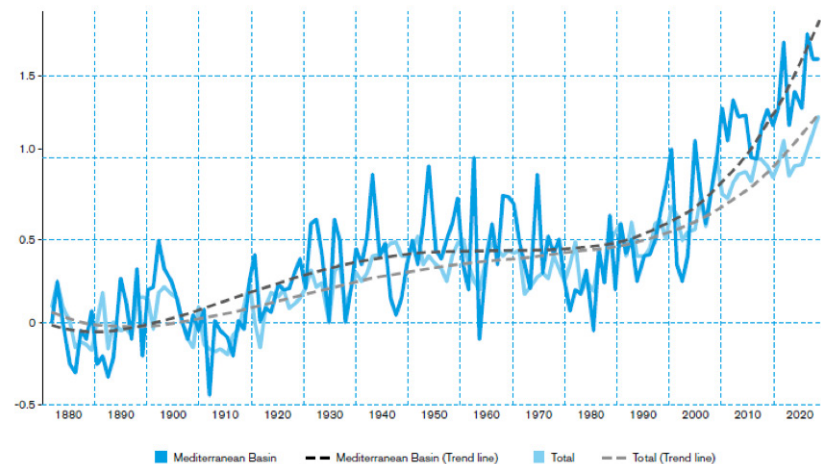
Como tal, a necessidade de uma agricultura que respeita e aproveita os serviços de ecossistemas, em vez de os degradar, é mais urgente do que nunca.

## Alterações climáticas: O que está a acontecer e como afeta a Agricultura no Mediterrâneo

As alterações climáticas, apoiadas por um consenso entre cientistas, são uma realidade que está a acontecer agora e prevê-se que se agrave no futuro, mesmo com cortes agressivos na emissão de gases com efeito de estufa. Globalmente, as temperaturas terrestres subiram cerca de 1.2°C desde o fim do século XIX, tendo o aumento mais significativo ocorrido nas últimas quatro décadas. A maior parte deste aquecimento aconteceu nas últimas quatro décadas, mostrando que as nossas atividades industriais têm acelerado o ritmo das alterações climáticas, exacerbando o efeito de estufa natural na atmosfera da terra.

O aumento da temperatura não tem sido uniforme no mundo todo, tendo algumas regiões experienciado aumentos mais severos do que outras. É o caso da região do Mediterrâneo, que está a sofrer mais intensamente os efeitos das alterações climáticas. As temperaturas nesta área subiram para aproximadamente 1,7°C a mais do que no final do século XIX.

A taxa de aquecimento da região do Mediterrâneo é mais rápida do que a média global, o que é motivo de séria preocupação, uma vez que já provoca, e continuará a causar, impactos sociais, económicos e ecológicos graves. O calor está a causar ondas de calor mais longas e intensas e mais incêndios florestais, reduzindo a disponibilidade de água, ameaçando a agricultura e causando danos generalizados nos ecossistemas.



**Figura 3.** Alteração na temperatura global da superfície terrestre e da bacia Mediterrânea (1880-2020). Fonte: Cramer et al. (2018)

As alterações da temperatura global e dos padrões atmosféricos causados pelas alterações climáticas têm impacto crítico em fatores como a precipitação, a temperatura e a frequência e gravidade dos fenômenos meteorológicos extremos, o que poderá, por sua vez, afetar a produtividade das culturas e a segurança alimentar.

Um efeito significativo das alterações climáticas na agricultura está relacionado com a desertificação em regiões secas. Atividades humanas como o sobrepastoreio, desflorestação e práticas agrícolas inapropriadas, degradam o solo e o coberto vegetal, levando à expansão de condições semelhantes às do deserto. Para além disso, o aumento das temperaturas globais pode intensificar as taxas de evaporação, contribuindo mais para a secagem destas áreas.

Se as temperaturas globais continuarem a aumentar sem um aumento correspondente da precipitação, o fenómeno da aridez (o grau em que um clima carece de humidade eficaz e promotora da vida) será intensificado.

Este aumento levará à expansão de áreas áridas e semiáridas, colocando mais regiões em risco de desertificação. Esta expansão poderá reduzir a área de terra adequada à agricultura, e consequentemente ameaçar a segurança alimentar.

Adicionalmente, é provável que as alterações climáticas alterem a distribuição e a intensidade da precipitação devido a mudanças nos padrões atmosféricos. Estas alterações podem levar a um conjunto mais complexo de padrões globais de aridez. Algumas áreas podem experienciar secas mais frequentes e severas, enquanto que outras podem enfrentar precipitação errática e intensa, ambas as quais podem ter um impacto negativo na produtividade agrícola.

Tais mudanças nos padrões de precipitação e aumento das temperaturas podem tornar as atuais adaptações das culturas inadequadas para as suas respetivas regiões. Diferentes culturas possuem diferentes requisitos climáticos para um crescimento ótimo, e estes requisitos são baseados no clima atual. Alterações na temperatura e nos padrões de precipitação poderão significar que as culturas que antes eram adequadas para uma certa área poderão deixar de prosperar sob as novas condições climáticas.

Os agricultores poderão precisar de trocar para variedades de cultura mais resistentes ou para culturas totalmente diferentes, práticas que implicam custos e riscos significativos. Isto também levanta o espectro da perda de diversidade de culturas se as variedades tradicionais se tornarem instáveis sob as novas condições climáticas. Adicionalmente, tais mudanças poderão também aumentar a probabilidade de surtos de pragas e doenças, uma vez que as alterações climáticas podem alterar o ciclo de vida dos insetos e dos agentes patogénicos.

Para além da produção vegetal, as alterações climáticas poderão representar desafios significativos à pecuária. O aumento das temperaturas pode causar *stress* térmico aos animais, reduzindo a produtividade e aumentando as taxas de mortalidade. As alterações na disponibilidade e na qualidade dos alimentos

devido a padrões de precipitação alterados, poderão também afetar a saúde e a produtividade dos animais.

## O CLIMA MEDITERRÂNEO E AS SUAS VULNERABILIDADES

O clima Mediterrâneo é distintivamente caracterizado pelos seus verões quentes e secos e pelos invernos moderados e húmidos, o que se deve à sua localização entre a alta pressão subtropical e a frente polar. A precipitação anual é tipicamente baixa, e o clima regista uma elevada variabilidade interanual, o que significa que poderão existir variações significativas na precipitação e na temperatura de um ano para o outro.

Enquanto que a maioria das regiões Mediterrâneas, como o sul da Califórnia, Espanha, Austrália, Chile e o Norte de Itália, sofram predominantemente de condições secas, algumas áreas estão sujeitas a uma maior precipitação, especialmente durante o inverno. Estas chuvas intensas periódicas podem levar ao crescimento rápido da vegetação, que secará nos meses quentes e secos de verão, levando muitas vezes a um aumento do risco dos incêndios florestais.

As condições de seca durante os meses quentes do verão são um fenómeno comum no clima Mediterrâneo. Isto torna o *stress* hídrico um fator crítico que afeta tanto os ecossistemas naturais como as práticas agrícolas. As plantas e animais da região evoluíram de modo a sobreviver com uma quantidade limitada de água durante o verão, mas as secas severas e persistentes ainda podem causar danos ecológicos significativos.

As tendências climáticas atuais têm indicado uma diminuição geral na precipitação anual nestas regiões do Mediterrâneo. Por exemplo, algumas áreas estão até mesmo a registar uma redução das chuvas durante o verão. Isto, combinado com as altas temperaturas características dos verões Mediterrâneos,

poderá exacerbar a escassez de água, levando a secas agrícolas severas e o aumento da vulnerabilidade aos incêndios florestais.

As alterações climáticas adicionam outro nível de complexidade à situação. É esperado que o aquecimento global, devido ao aumento da concentração de gases de efeito de estufa na atmosfera, intensifique a aridez do clima Mediterrâneo.

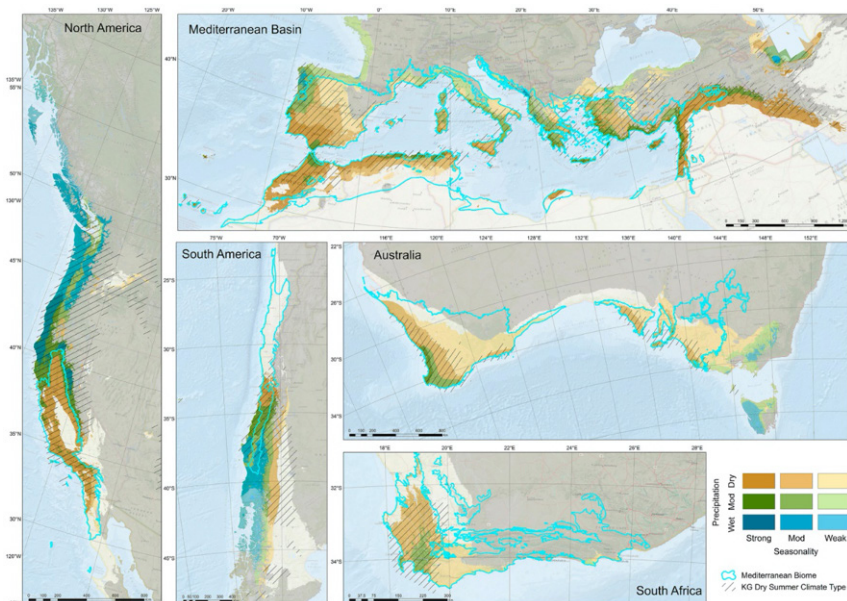
O aumento das temperaturas leva a taxas mais elevadas de evaporação, o que poderá reduzir ainda mais a disponibilidade das reservas de água superficiais e subterrâneas. Isto tornaria os já secos verões ainda mais secos e potencialmente estenderia a estação seca para os meses do inverno, tipicamente mais húmidos.

Para além do aumento das temperaturas, é também esperado que as alterações climáticas influenciem os padrões de precipitação. Embora a tendência geral seja de redução de precipitação, a distribuição da mesma poderá tornar-se irregular, com eventos mais intensos de chuva separados por longos períodos de seca. Este aumento da sazonalidade das chuvas poderá levar a cheias mais frequentes e graves durante as estações húmidas e a secas mais intensas durante as estações secas.

Estas alterações climáticas estão a exacerbar a vulnerabilidade das terras Mediterrâneas à desertificação, um processo onde as terras férteis se tornam cada vez mais áridas e perdem a sua produtividade. Isto poderá ter implicações severas para a agricultura, biodiversidade e para os aglomerados humanos na região.

As vulnerabilidades da região do Mediterrâneo às alterações climáticas destacam a necessidade urgente de adaptação e estratégias de mitigação. Estas poderão incluir uma melhor gestão da água, desenvolvimento de culturas resistentes à seca, reflorestação de modo a prevenir a erosão dos solos, e redução da emissão dos gases de efeito de estufa. Adicionalmente, há uma necessidade de modelação do clima rigorosa para prever futuras mudanças e planeá-las em conformidade.





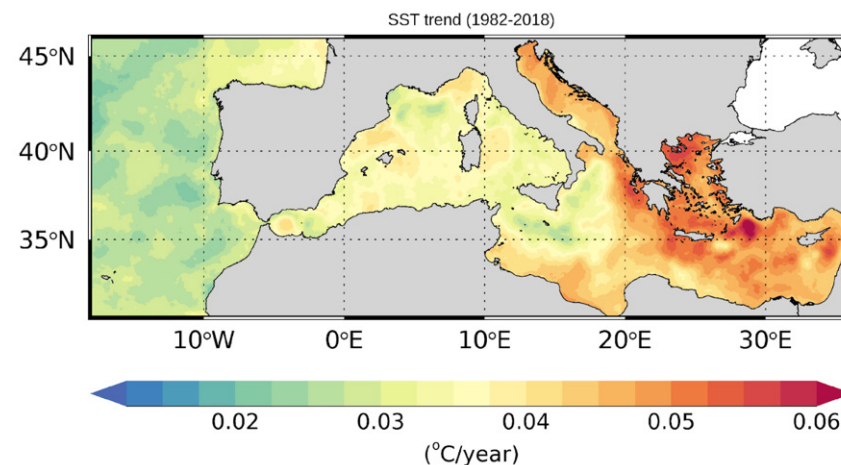
**Figura 4.** Distribuição dos climas Mediterrâneos globalmente. A linha azul define os biomas mediterrânicos, com as linhas transversais a indicar as áreas de verões secos. As cores indicam o regime pluviométrico, e a intensidade da cor representa a sazonalidade. Fonte: Deitch et al. (2017)

O mar Mediterrâneo, tal como muitos outros ecossistemas marinhos por todo o mundo, está a sofrer os efeitos adversos das alterações climáticas. Dados observados entre 1982 e 2018, indicam um aumento estável na sua temperatura de aproximadamente 0.04°C por ano. Embora este aumento possa parecer trivial, fez com que o mar se tornasse 1.5°C mais quente do que no início da década de 1980. Este aquecimento constante afeta o delicado equilíbrio ecológico do mar Mediterrâneo, impactando a biodiversidade, a indústria pesqueira e o clima regional.

Um aspeto notável desta tendência de aquecimento é a disparidade geográfica ao longo do mar Mediterrâneo. O Mediterrâneo Oriental está a aquecer mais

rapidamente do que a parte ocidental, que está ligada ao Oceano Atlântico. Esta variabilidade espacial nas taxas de aquecimento pode influenciar a distribuição de espécies marinhas, impactando, potencialmente, os ecossistemas locais e a indústria pesqueira. Algumas espécies podem mudar-se para as regiões ocidentais mais frias, enquanto que outras poderão não ser capazes de sobreviver ao aumento das temperaturas, levando a alterações na biodiversidade local.

A temperatura do Mar Mediterrâneo exerce uma influência significativa nos padrões climáticos regionais. Um desses exemplos são as fortes chuvas de outono que tipicamente ocorrem nesta região. Quanto mais quente é o mar, mais a evaporação ocorre, e esta humidade adicional poderá promover chuvas mais fortes. Esta precipitação intensa, particularmente depois dos meses quentes de verão, poderá levar a uma erosão severa dos solos, prejudicando os solos agrícolas e aumentando o risco de deslizamentos de terra em áreas montanhosas.



**Figura 5.** Tendências de aquecimento no Mar Mediterrâneo. Fonte: Pisano et al. (2020)

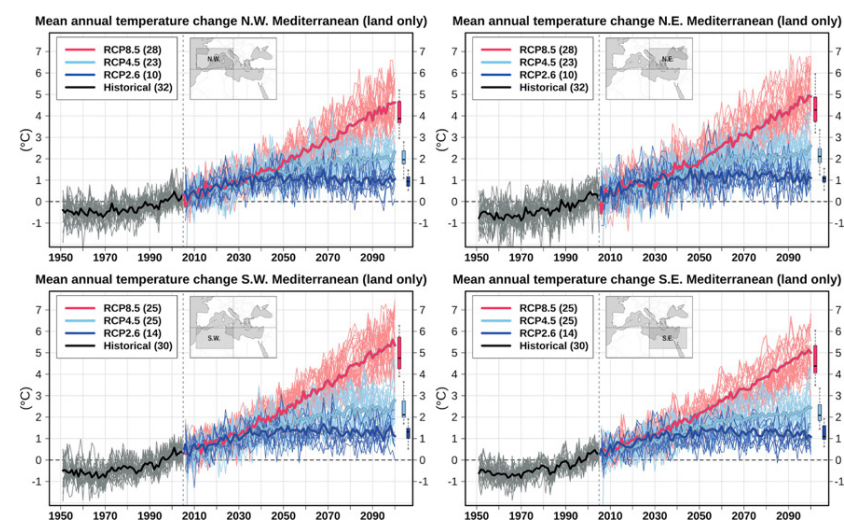
Os modelos climáticos fornecem informações sobre o potencial impacto das alterações climáticas na atividade agrícola. A região do Mediterrâneo é

particularmente vulnerável devido às suas características climáticas únicas e à forte dependência da agricultura. Como citado pelo *European Institute of the Mediterranean* em 2018, as previsões indicam que, mesmo com os esforços de redução das emissões, a temperatura média no Mediterrâneo poderá subir 2°C até meados do século (RCP 4.5). No entanto, um cenário mais alarmante de “*manutenção do status quo*” sugere um potencial aumento de 3.5°C-4°C (RCP 8.5).

RCP (Representative Concentration Pathways) significa Vias de Concentração Representativas e referem-se a cenários que a comunidade de investigação climática utiliza para projetar o futuro potencial das concentrações de gases com efeito de estufa na nossa atmosfera. Estes cenários, ou percursos, são definidos com base na sua força radiativa total (medida em *watts* por metro quadrado) até ao ano 2100 em relação aos valores pré-industriais.

- **RCP 4.5** representa um “*cenário de estabilização*” em que são adotadas políticas para estabilizar forças radioativas logo após o ano 2100, levando a um aumento de 4.5 W/m<sup>2</sup> (*watts* por metro quadrado) no fim do século. Neste cenário, as emissões dos gases de efeito de estufa atingem o seu pico por volta de 2040, e depois diminuem. É muitas vezes considerado um cenário intermédio, uma vez que pressupõe reduções consideráveis nas emissões, mas é menos ambicioso do que alguns dos outros RCPs.
- **RCP 8.5** é um cenário de “*manutenção do status quo*” sem políticas específicas para reduzir a emissão de gases de efeitos de estufa. Representa a maior trajetória de concentração de gases com efeito de estufa entre os RCPs. O valor da força radiativa chegará aos 8.5 W/m<sup>2</sup> até ao ano 2100. Neste cenário, a emissão dos gases de efeito de estufa continuarão a aumentar durante o século XXI, e as concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub> atingirão cerca de 950 partes por milhão (ppm) até 2100, mais que o dobro da concentração de cerca de 400 ppm em 2015.

Estes cenários são utilizados em modelos climáticos para projetar os possíveis impactos das alterações climáticas, incluindo o aumento das temperaturas, mudanças na precipitação, subida do nível do mar e outros fatores, em diferentes cenários de emissão. Ajudam os decisores políticos e cientistas a compreender o leque de possibilidades futuras e planear para diferentes resultados climáticos potenciais.



**Figura 6.** Alterações previstas na temperatura média anual em terras em torno do Mediterrâneo. RCP2.6 é o cenário de controlo estrito de emissões; o RCP4.5 aumenta as emissões até 2040 e depois ocorre a sua diminuição; RCP8.5 é o cenário de “*manutenção do status quo*” sem controlo de emissões.

Fonte: Zittis et al. (2019)

Esta mudança de temperatura não é um fenómeno isolado. Prevê-se, também, que os padrões de precipitação sofram uma transformação considerável. Nomeadamente, antecipa-se que haja reduções nas chuvas de inverno. Regiões como o Magreb e o Mediterrâneo Oriental são particularmente preocupantes, onde

a diminuição significativa da precipitação poderá ter implicações terríveis para a disponibilidade de água, a humidade dos solos e a produtividade agrícola.

Os verões mais quentes e secos no Mediterrâneo, como resultado das alterações climáticas, colocam uma série de desafios à agricultura. As culturas básicas da região como as azeitonas, as uvas e os vários cereais podem enfrentar *stress* devido as vagas de calor e água insuficiente. A redução da disponibilidade de água afeta não só o rendimento, mas também a qualidade dos produtos. Adicionalmente, o aumento da frequência de eventos climáticos extremos, como as secas, podem causar a erosão dos solos, diminuindo a sua fertilidade ao longo do tempo.

É interessante notar que enquanto algumas regiões podem ter uma diminuição da precipitação, prevê-se uma intensificação do ciclo hidrológico global, o que significa que certas áreas podem registar um aumento da precipitação. No entanto, isto pode significar chuvas mais concentradas e fortes para o Mediterrâneo, em vez de chuvas estáveis e benéficas distribuídas ao longo do tempo. Tais eventos de chuva esporádica e intensa pode levar a inundações repentinas que podem arrastar a camada superficial do solo e danificar as colheitas, em vez de reabastecer as reservas de água.

Os efeitos na dinâmica das culturas têm implicações no rendimento e na adequação das culturas no Mediterrâneo. Por exemplo, simulações sugerem que o cultivo de girassóis em certos tipos de solo no sul de Espanha pode tornar-se parcialmente inadequado, levando a uma redução da produção agrícola até 2100. A cultura da oliveira também enfrenta desafios, com reduções do rendimento projetadas até 45% na Europa Ocidental devido ao aumento das temperaturas e à diminuição da precipitação. As vinhas e as azeitonas, outras culturas mediterrânicas vitais, podem sofrer alterações nos fenómenos fenológicos, afetando tanto a quantidade como a qualidade.

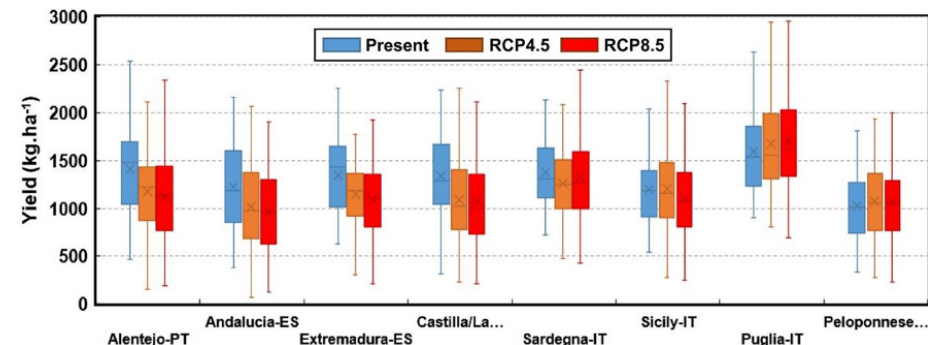


Figura 7. Produção de azeitona sob diferentes cenários de alterações climáticas ao longo do Mediterrâneo. Fonte: Fraga et al. (2019)

Adicionalmente, os impactos no ciclo hidrológico irão afetar a oferta e a procura de água, levando a desafios à agricultura de regadio, uma vez que as secas serão um fenómeno mais frequente. E, para além disso, intensificado pelas alterações climáticas, o Mediterrâneo também é altamente suscetível à desertificação, o que agrava ainda mais os impactos das alterações climáticas e das atividades agrícolas nesta região.



## Desertificação no Mediterrâneo

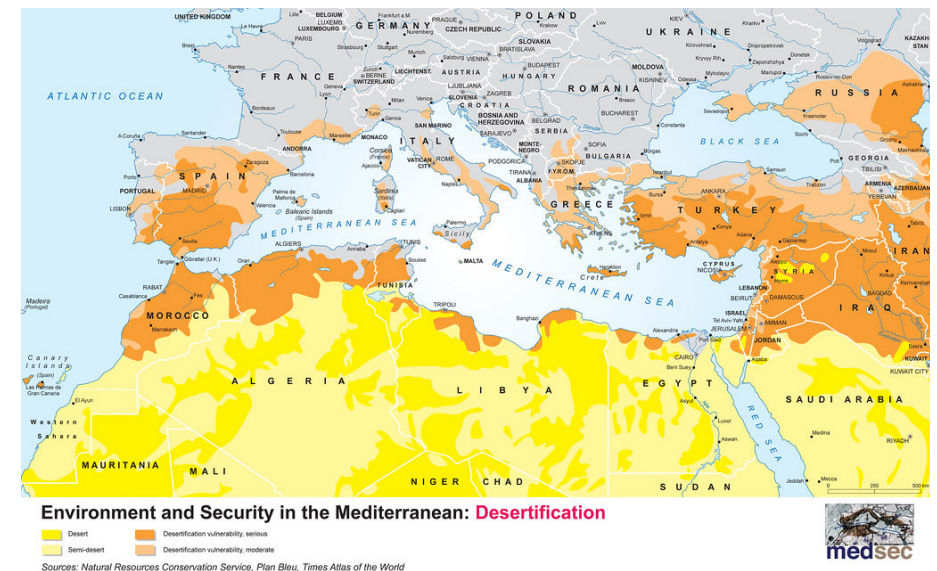
A desertificação é a degradação da terra em regiões áridas, semiáridas e sub-húmidas secas devido a diversos fatores, incluindo variações climáticas e atividades humanas. Isto afeta cerca de um terço da superfície terrestre do planeta e mais de mil milhões de pessoas em todo o mundo. Contrariamente à crença popular, a desertificação não se refere à expansão dos desertos existentes, mas sim à criação de condições semelhantes às do deserto em regiões que anteriormente não o eram. Isto ocorre devido a um desequilíbrio de longo prazo entre a procura e a oferta dos serviços do ecossistema, resultando numa diminuição da produtividade da terra.



**Figura 8.** Exemplo de uma área crítica de desertificação e sustentabilidade na Serra de Mértola, Alentejo, Portugal – Crédito: Henrique Cerqueira.

## VULNERABILIDADE DO MEDITERRÂNEO À DESERTIFICAÇÃO

A Bacia do Mediterrâneo, com o seu clima único caracterizado pelos seus invernos húmidos e pelos verões quentes e secos, é uma das mais vulneráveis da região à desertificação. Aproximadamente 75% da terra no sul da Europa, de acordo com a Agência Europeia do Ambiente (AEA, 2008), é propícia à desertificação. Os estudos indicam um risco acrescido de desertificação no Mediterrâneo nas últimas décadas, principalmente devido às alterações climáticas e a fatores induzidos pelo Homem, tais como a sobre-exploração da terra, sobrepastoreio e desflorestação. Estes fatores contribuem para a erosão dos solos, perda do coberto vegetal, e degradação do solo, promovendo o processo de desertificação.



**Figura 9.** Vulnerabilidade à desertificação na bacia do Mediterrâneo.  
Fonte: Emmanuelle Bournay and Matthias Beilstein, Zoi Environment Network (2013).

## INDICADORES E IMPACTOS DA DESERTIFICAÇÃO

Reconhecer os sinais iniciais da desertificação é crucial para mitigar os seus impactos. Entre os principais indicadores contam-se a degradação da qualidade do solo, a escassez de água, a alteração dos padrões climáticos e os indicadores socioeconómicos, como a diminuição da produtividade agrícola e o aumento da pobreza rural. A desertificação na região do Mediterrâneo tem diversas implicações incluindo:

- 1. Produtividade Agrícola:** A desertificação tem um impacto significativo na produtividade agrícola. A degradação do solo e a escassez de água levam ao declínio do rendimento das culturas. Olivais, vinhas e produção de cereais, que são vitais para a região do Mediterrâneo, estão particularmente em risco. A diminuição da produção agrícola pode resultar em insegurança alimentar e instabilidade económica, devido à importância do setor para a economia da região.
- 2. Perda de Biodiversidade:** A Bacia do Mediterrâneo é um local crucial de biodiversidade, albergando um número significativo de espécies de plantas, muitas das quais são únicas na região. A desertificação ameaça a biodiversidade, levando à perda de espécies e afetando a saúde e resiliência dos ecossistemas.
- 3. Escassez de Água:** A redução da precipitação e o aumento da evaporação contribuem para a escassez de água. Isto afeta o uso agrícola da água e a disponibilidade de água potável, agravando o *stress* hídrico na região.
- 4. Consequências Socioeconómicas:** A diminuição da produtividade agrícola e o aumento dos custos causados pela escassez de água e infertilidade dos solos pode levar ao desemprego rural, aumentando a

pobreza e, potencialmente, forçando a migração, uma vez que as pessoas procuram meios de subsistência noutros lugares. As consequências socioeconómicas da desertificação são significativas e podem ter impactos duradouros nas comunidades locais.

## ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO

A desertificação não é inevitável, e há medidas que podem ser tomadas para mitigar os seus impactos. Práticas de gestão sustentáveis das terras, como a agricultura regenerativa, a agrofloresta e práticas de irrigação sustentáveis, podem ajudar a restaurar terras degradadas e melhorar a resiliência à desertificação. Sistemas de aviso iniciais e estratégias de adaptação, incluindo o cultivo de culturas tolerantes à seca e uma gestão eficiente da água, podem ajudar os agricultores a fazer face à alteração das condições.

A desertificação representa uma ameaça significativa para a região do Mediterrâneo, com as alterações climáticas e as atividades humanas a agravarem o risco. Reconhecer os indicadores da desertificação e implementar estratégias de mitigação e adaptação apropriadas é essencial para preservar a produtividade agrícola, a biodiversidade, e a estabilidade socioeconómica do Mediterrâneo. A promoção de práticas sustentáveis de gestão da terra e a adoção de abordagens agrícolas resilientes pode mitigar os impactos da desertificação e construir um futuro mais sustentável para a região.



## Agroecossistemas e as paisagens circundantes

Agroecossistemas são ecossistemas únicos intencionalmente desenhados e geridos pelo ser humano para fins agrícolas. Estes sistemas englobam vários componentes, incluindo culturas, pecuária, solos, água, o clima e os diversos organismos vivos dentro do ambiente. Ao contrário dos ecossistemas naturais que operam de forma independente, os agroecossistemas são cuidadosamente estruturados para otimizar a produtividade e o lucro económico. A figura 10 mostra, do lado esquerdo, uma paisagem moderadamente simplificada. À direita, uma paisagem extensivamente racionalizada. O envolvimento humano surge como uma influência fundamental na remodelação da estrutura espacial do ambiente. Quando a atividade é moderada, promove-se a diversificação das paisagens, enquanto que o envolvimento humano intenso conduz a uma simplificação acentuada.



**Figura 10.** Gestão do Cenário Agrícola de dois ecossistemas agrícolas no norte da Espanha.  
Fonte: G. Clemente-Orta (2019).

## A IMPORTÂNCIA DOS AGROECOSSISTEMAS

Os agroecossistemas possuem um papel crucial na manutenção da vida humana e no apoio ao desenvolvimento socioeconómico. São responsáveis pela produção da maioria do alimento do mundo, incluindo culturas de base como os cereais, frutas e legumes, e fontes de proteína essenciais tais como a carne, leite e ovos. Para além da produção alimentar, os agroecossistemas fornecem uma vasta gama de serviços de ecossistemas, incluindo a purificação da água, o sequestro de carbono, a criação de *habitats* para a biodiversidade, e paisagens visualmente apelativas. Além disso, os agroecossistemas facilitam a agricultura, proporcionando emprego a mais de mil milhões de pessoas no mundo e contribuindo significativamente para o desenvolvimento da economia global e para a redução da pobreza.

Os agroecossistemas não existem isoladamente: estes interagem com e são influenciados pelos ecossistemas naturais circundantes de várias formas. As paisagens agrícolas servem muitas vezes de *habitats* para a vida selvagem, e o aumento da diversidade de *habitats* nos agroecossistemas pode apoiar os esforços de conservação da biodiversidade. Os agroecossistemas também influenciam os ciclos hídricos e de nutrientes nas paisagens circundantes, têm impacto na regulação do clima através do sequestro de carbono nos solos e na vegetação, dependem dos serviços de polinização dos *habitats* naturais circundantes e contribuem para a conectividade da paisagem, facilitando o movimento da vida selvagem e o fluxo de genes.

Compreender as relações intrincadas entre os agroecossistemas e os ecossistemas circundantes é fundamental para um planeamento e gestão eficazes ao nível da paisagem. Ao encontrar um equilíbrio entre a produção agrícola e a conservação do ambiente e da biodiversidade, promove-se uma agricultura sustentável. Tal implica a adoção de práticas agrícolas sustentáveis, a preservação

da biodiversidade, a valorização do património cultural e a garantia da resiliência e da produtividade dos agroecossistemas a longo prazo, salvaguardando simultaneamente o ambiente natural.

Embora os agroecossistemas forneçam diversos benefícios, é importante abordar os compromissos associados com a agricultura insustentável. Práticas associadas com a degradação da terra, perda de biodiversidade e poluição ambiental podem ter efeitos prejudiciais na viabilidade dos agroecossistemas a longo prazo. Deste modo, a chave para alcançar tanto a segurança alimentar como a conservação ambiental está na gestão sustentável destes sistemas.

A região do Mediterrâneo é conhecida pelos seus diversos agroecossistemas, moldados pelo seu clima único, topografia e ricas influências histórico-culturais. O Mediterrâneo possui uma herança agrícola rica, desde os pitorescos olivais, vinhas e pomares citrinos ao longo da costa, até aos produtivos campos de cereais, pastagens e sistemas de pecuária no interior. Nomeadamente, agroecossistemas tradicionais como o Dehesa em Espanha ou o Montado em Portugal, caracterizados por uma combinação de agricultura, silvicultura, e práticas pastoris, são mundialmente reconhecidos pela sua elevada biodiversidade e valor cultural.

Nas últimas décadas, os agroecossistemas Mediterrâneos têm enfrentado desafios significativos. A urbanização, o abandono da terra, a agricultura intensiva, as alterações climáticas e a desertificação têm constituído ameaças para a sustentabilidade destes sistemas. A transição para práticas agrícolas mais sustentáveis é imperativa para ultrapassar estes desafios. Esta transição envolve preservar a biodiversidade única do Mediterrâneo e a herança cultural, ao mesmo tempo que se assegura a segurança alimentar e o bem-estar das comunidades locais.

## Intensificação Agrícola e Ecológica

A intensificação agrícola e ecológica são duas abordagens contrastantes para melhorar a produtividade agrícola. A intensificação agrícola foca-se na maximização dos rendimentos através do aumento de fatores de produção e tecnologias avançadas. Em contraste, a intensificação ecológica tem como objetivo alcançar ganhos de produtividade, ao mesmo tempo que minimiza os impactos ambientais negativos através da otimização dos serviços de ecossistemas e da promoção da biodiversidade.

Na região do Mediterrâneo, a intensificação agrícola tem prevalecido devido à crescente procura de alimento e de maior rentabilidade. Isto levou a uma mudança dos sistemas agrícolas tradicionais com fracos fatores de produção para práticas monoculturais altamente dependentes de fatores de produção sintéticos e da mecanização. No entanto, as consequências negativas da intensificação agrícola, tais como a perda de biodiversidade, degradação dos solos, poluição das águas e a emissão de gases de efeito de estufa, têm provocado mudanças no sentido da intensificação ecológica.



**Figura 11.** Produção de azeitona super intensiva na região do Alqueva, Alentejo.  
Fonte: Miguel Manso (2019), Público.



A intensificação é impulsionada pela necessidade de alimentar uma população em crescimento, avanços tecnológicos, forças de mercado e políticas governamentais. No entanto, embora a produção alimentar aumente, esta também causa danos ambientais significativos.

A intensificação ecológica promove uma alternativa mais sustentável ao focar-se na conservação da biodiversidade, na melhoria da saúde dos solos, e na redução de *inputs* químicos. Esta abordagem está alinhada com diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, incluindo a segurança alimentar, a mitigação das alterações climáticas e a conservação da biodiversidade.



**Figura 12.** Cultivo de Plantas de Cobertura na Olivicultura na Turquia

Fonte: The Turkish Foundation for Combating Soil Erosion, for Reforestation and the Protection of Natural Habitats (A Fundação Turca para o Combate à Erosão do Solo, para o Reflorestamento e a Proteção dos *Habitats* Naturais), TEMA (n.d).

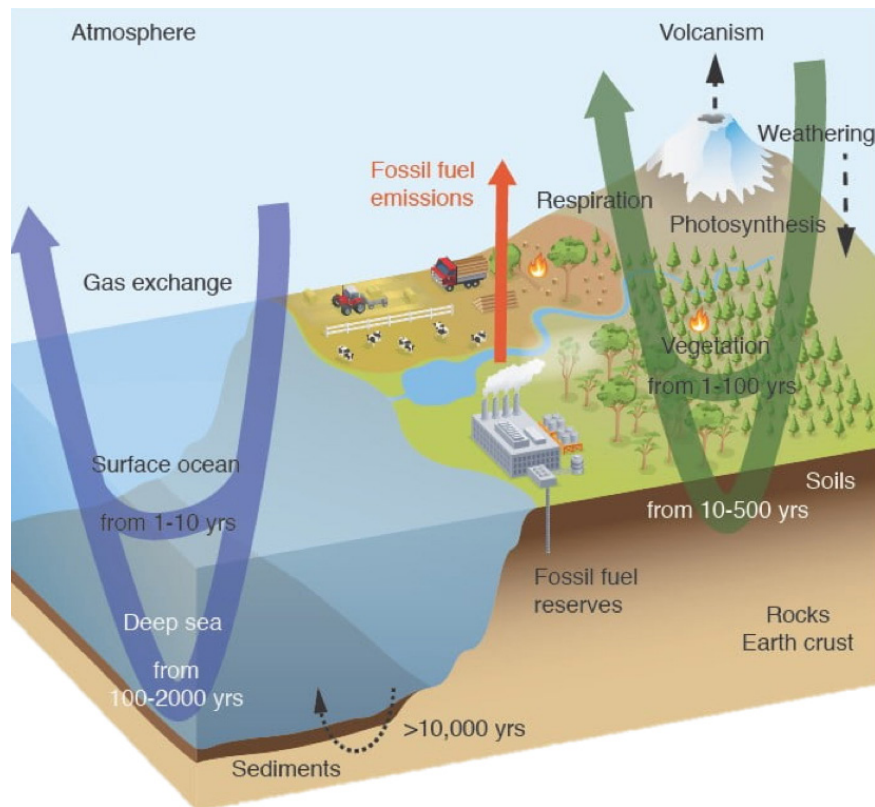
A diferença chave entre a intensificação agrícola e ecológica reside nas suas abordagens sobre o aumento da produtividade. A intensificação agrícola depende fortemente de fatores de produção externos, levando à degradação ambiental, enquanto que a intensificação ecológica aproveita os processos ecológicos para melhorar a produtividade e a sustentabilidade. No entanto, a intensificação ecológica enfrenta desafios como a alteração de práticas agrícolas, o aumento da compreensão dos processos ecológicos e apoio político para incentivar abordagens sustentáveis.

Na região do Mediterrâneo, a intensificação ecológica oferece benefícios. Ao otimizar os serviços de ecossistemas e promover a biodiversidade, melhora a resiliência dos agroecossistemas face às alterações climáticas e aos fatores de *stress* ambiental. Também preserva a agro-biodiversidade e as paisagens culturais moldadas pelas práticas agrícolas tradicionais. Adicionalmente, ao reduzir o uso de fatores de produção sintéticos, a intensificação ecológica ajuda a mitigar a poluição ambiental e os riscos para a saúde relacionados com os resíduos químicos na comida.

Ao abraçar a intensificação ecológica, a região do Mediterrâneo pode alcançar tanto o aumento da produtividade agrícola, como a sustentabilidade ambiental. Esta transição requer uma abordagem holística que integra princípios ecológicos, conhecimento agrícola e políticas de apoio para a criação de um sistema agrícola sustentável e resiliente para o futuro.

## O Ciclo do Carbono em Sistemas Agrícolas

O ciclo do carbono é um processo fundamental que envolve a troca de carbono entre a biosfera, a geosfera, a hidrosfera e a atmosfera da Terra. Este desempenha um papel vital na regulação do clima da Terra e no suporte da produtividade dos ecossistemas. Compreender e aproveitar o ciclo do carbono em sistemas agrícolas é crucial para aumentar a fertilidade dos solos, mitigar as alterações climáticas e criar resiliência.



**Figura 13.** Esquema simplificado do ciclo do carbono global, mostrando as escalas temporais típicas de rotatividade para a transferência de carbono através dos principais reservatórios. Fonte: IPCC (2013)

O ciclo do carbono começa com a fotossíntese, onde as plantas verdes e o fitoplâncton convertem o dióxido de carbono em compostos orgânicos utilizando energia solar. Este processo forma a base da cadeia alimentar, sendo o carbono transferido de produtores primários para os herbívoros e carnívoros. Quando os organismos morrem, os seus corpos decompõem-se, liberando carbono de volta à atmosfera através da respiração por micróbios. A combustão, tanto natural como a induzida pelo ser humano, também liberta dióxido de carbono para a atmosfera.

Atividades humanas como a desflorestação, a queima de combustíveis fósseis, e mudanças no uso dos solos, perturbam o ciclo do carbono, levando a um aumento das concentrações de dióxido de carbono na atmosfera e contribuindo para as alterações climáticas. Os sistemas agrícolas, em particular, podem ser afetados por estas perturbações. Práticas como o sobrepastoreio, a lavoura excessiva do solo e a monocultura podem reduzir o carbono orgânico e degradar a saúde do solo. Estas práticas não só impactam a fertilidade dos solos, mas também aumentam as emissões de dióxido de carbono.

O ciclo do carbono possui um papel significativo nos agroecossistemas ao melhorar a fertilidade do solo e mitigar as alterações climáticas. O carbono é uma componente chave na matéria orgânica do solo, o que melhora a estrutura do solo, a retenção da água e a ciclagem de nutrientes. Adicionalmente, os agroecossistemas podem agir como absorvedores de carbono quando geridos adequadamente.

Promover um ciclo do carbono saudável nos agroecossistemas contribui para a sua resiliência face às alterações ambientais. Os solos ricos em carbono orgânico conseguem reter melhor a água, reduzindo a vulnerabilidade à seca. Estes solos também protegem contra a perda de nutrientes, mantendo a produtividade sob condições em mudança.

Diversas estratégias podem ser implementadas para alavancar o ciclo do carbono nos agroecossistemas. O sequestro de carbono nos solos pode ser alcançado através de práticas como as culturas de cobertura e a lavoura de conservação. A agrofloresta, que integra árvores em paisagens agrícolas, não só sequestra o carbono, mas também fornece benefícios tais como sombra e *habitat* para espécies benéficas. Práticas agrícolas orgânicas, incluindo a compostagem e a adubação verde, melhoram o teor de carbono orgânico do solo e reduzem a dependência de fertilizantes sintéticos. A diversificação e as rotações de culturas contribuem para a saúde dos solos e aumentam o sequestro de carbono.

## Mitigar Impactos e Agricultura Inteligente para o Clima (AIC)

Agricultura Inteligente para o Clima (AIC) é uma abordagem holística que aborda a interação complexa do desenvolvimento agrícola, da capacidade de resposta às alterações climáticas e a redução de emissões. Está orientada para a transformação e reorientação dos sistemas agrícolas para apoiar o desenvolvimento sustentável e assegurar segurança alimentar sob a nova realidade produzida pelas alterações climáticas. Dados os impactos inegáveis das alterações climáticas na agricultura Mediterrânea – o aumento das temperaturas, a diminuição da precipitação, e eventos climáticos extremos mais frequentes e intensos – os princípios da AIC são altamente pertinentes.

Exemplos de sucesso de práticas sustentáveis já existem em paisagens como o Montado em Portugal, o “Dehesa” em Espanha, e as planícies aluviais irrigadas tradicionais no leste da Espanha. Embora cultivadas, estas paisagens mantêm altos níveis de serviços de ecossistemas, incluindo o sequestro de carbono, a filtragem da água e a preservação da biodiversidade. Estes servem como modelos de como a agricultura pode ser compatível com a conservação e resiliência ambiental.

A adoção de práticas de AIC pode ajudar a mitigar os impactos ambientais da agricultura de diversas formas:

- **Adaptação às alterações climáticas:** A AIC promove a adaptação dos sistemas agrícolas às alterações das condições climáticas. Isto envolve o desenvolvimento e implementação de novas práticas agrícolas, variedades de culturas e tecnologias que são resilientes aos extremos climáticos, como variedades de culturas tolerantes à seca, sistemas de irrigação de precisão e sistemas agroflorestais.



- **Mitigação dos gases de efeito de estufa:** A AIC procura reduzir a emissão dos gases de efeito de estufa provenientes da agricultura que contribuem significativamente para o aquecimento global. Isto pode ser conseguido através da implementação de práticas como o uso eficiente de fertilizantes, a gestão integrada de pragas, a lavoura de conservação e agricultura orgânica.
- **Intensificação sustentável da produção alimentar:** A AIC tem como objetivo o aumento da produção alimentar para satisfazer a procura global, ao mesmo tempo que minimiza os impactos ambientais negativos. Isto pode ser alcançado através de práticas tais como agricultura de precisão, o consórcio de culturas, e agroecologia, o que aumenta o rendimento por unidade de terra enquanto se mantém ou até melhora a saúde do solo e a sua biodiversidade.

Juntamente com estes três pilares, a AIC enfatiza a importância de um ambiente político propício e instituições influentes que possam facilitar a adoção das práticas da AIC. Isto inclui políticas que incentivam práticas agrícolas sustentáveis, programas de capacitação para agricultores, sistemas robustos de pesquisa e extensão agrícola.

No geral, a Agricultura Inteligente para o Clima fornece um quadro compreensivo e flexível para abordar os desafios colocados pelas alterações climáticas à agricultura no Mediterrâneo. Ao adotar as práticas da AIC, é possível assegurar a resiliência e a sustentabilidade da agricultura nesta região ao mesmo tempo que se contribui para os esforços globais de mitigação das alterações climáticas. Isto envolve não só os agricultores, mas todas as partes interessadas no sistema alimentar, desde decisores políticos e investigadores até aos consumidores. A transição para a AIC é, não só uma necessidade ambiental, mas é também uma oportunidade para a inovação, maior produtividade e

desenvolvimento rural sustentável. Ao adotar estas práticas, os agricultores contribuem para a mitigação das alterações climáticas enquanto melhoram a produtividade e sustentabilidade dos agroecossistemas. Compreender e aproveitar o ciclo do carbono, a relação entre os diferentes componentes dos agroecossistemas, e os desafios que os afetam é essencial para alcançar os benefícios ambientais e agrícolas.

## Compreender a Política Agrícola Comum

A política agrícola comum (PAC) desempenha um papel fundamental na configuração da agricultura na União Europeia (UE) e já foi objeto de reformas para dar respostas aos desafios e prioridades em constante mudança. Embora a PAC tradicionalmente se foque em assegurar um nível de vida justo para os agricultores, estabilizar os mercados e assegurar o abastecimento alimentar, tem havido um reconhecimento crescente da necessidade de integrar considerações ambientais e promover práticas agrícolas sustentáveis.

As alterações climáticas e desertificação têm emergido como desafios prementes com implicações significativas para a sustentabilidade da agricultura na UE. Em resposta, a PAC incorporou objetivos ambientais e climáticos no seu quadro. O conceito de “*ecologização*” tem vindo a ser introduzido, e envolve a concessão de pagamentos diretos aos agricultores na condição da sua adesão às diversas práticas agrícolas favoráveis ao ambiente e ao clima. Estas práticas incluem a diversificação de culturas, a manutenção de pastagens permanentes, e a alocação de uma certa percentagem de terras aráveis a elementos ambientalmente benéficos, conhecidos como “áreas de foco ecológico”.

Adicionalmente, a PAC financia o desenvolvimento rural, que inclui medidas direcionadas para a mitigação e adaptação às alterações climáticas, bem como o combate à desertificação. Iniciativas como agricultura orgânica, agroflorestas, e a melhoria da gestão dos recursos hídricos são suportadas ao abrigo destes programas. O objetivo é incentivar os agricultores a adotarem práticas que reduzem a emissão dos gases com efeito de estufa, aumentar o sequestro de carbono, melhorar a eficiência da água e promover a sustentabilidade ambiental no geral.

As medidas da PAC têm como objetivo promover práticas de gestão sustentáveis da terra em regiões particularmente vulneráveis à desertificação, tais como o sul da Europa e o Mediterrâneo. Isto é essencial para prevenir a degradação do solo, manter a biodiversidade e proteger os ecossistemas valiosos. Ao encorajar práticas como a agrofloresta, conservação da agricultura, e culturas de cobertura, a PAC procura melhorar a saúde dos solos, conservar os recursos de água, e melhorar a resiliência global dos agroecossistemas nestas regiões.

Nos últimos anos, tem havido um interesse crescente nas abordagens agrícolas emergentes, como a agricultura regenerativa e Agricultura Inteligente para o Clima. Estas abordagens enfatizam a construção de matéria orgânica do solo, a restauração da biodiversidade do solo, o aumento do sequestro de carbono, e melhoram a resiliência às alterações climáticas. Enquanto que a PAC tem feito progressos no que toca ao apoio de práticas sustentáveis através das suas medidas agroambientais e climáticas (AECMs, do *inglês agri-environment-climate measures*), os críticos argumentam que a estrutura atual e o foco da PAC ainda são insuficientes para promover tais práticas na medida do necessário.

Para dar resposta a estas preocupações, haverá necessidade de uma maior evolução da PAC para se alinhar melhor com os princípios de sustentabilidade e resiliência. Isto inclui uma maior ênfase no suporte das abordagens agroecológicas, encorajando a adoção de tecnologias e práticas inovadoras, e incentivando os agricultores a transitarem para sistemas agrícolas mais sustentáveis e resistentes às alterações climáticas. Ao abraçar estas mudanças, a PAC pode contribuir para o desenvolvimento de sistemas agrícolas mais sustentáveis e amigos do ambiente, assegurando um equilíbrio entre a produção alimentar, proteção ambiental e o bem-estar dos agricultores e comunidades rurais.



# PRÁTICAS DE GESTÃO

## Gestão de Resíduos de Culturas

**NOME DA TÉCNICA:** Trituração de resíduos de culturas

**OUTROS NOMES:** Gestão de Resíduos de Culturas, Gestão de Resíduos de Poda, Cobertura Morta, Cobertura Orgânica

**TIPO:** Gestão de Culturas

### DESCRIÇÃO:

Esta técnica, conhecida como a trituração de resíduos de culturas, tem sido utilizada na agricultura durante muitos anos. É uma parte da Agricultura de Conservação, que é amplamente praticada em várias regiões do mundo, particularmente nas Américas, onde são cultivadas extensas culturas herbáceas, como os cereais, girassóis, milho e soja. A técnica envolve o retalhamento ou corte dos materiais vegetais que sobram na superfície do campo e a distribuição destes por todo o solo. Estes resíduos incluem as partes das plantas herbáceas deixadas após a colheita e os ramos e pequenos troncos remanescentes após a poda das lavouras lenhosas, é importante notar que o desperdício orgânico gerado dentro do sistema agrícola não deve ser considerado como resíduo, mas sim como um subproduto que pode ser reintroduzido no sistema de produção agrícola.

Em Espanha, os produtores de árvores de fruto e de citrinos, especialmente na região de Múrcia, têm adotado cada vez mais estas técnicas nas suas principais áreas de produção. Práticas semelhantes são também implementadas para espécies lenhosas como as oliveiras na Andaluzia e resíduos de videira, oferecendo uma alternativa à queima dos resíduos de poda. Ao longo do tempo, quando

deixadas na superfície da terra, estes resíduos decompõem-se e formam uma camada de material orgânico conhecido como cobertura morta. A espessura da camada morta pode variar dependendo da espécie das árvores e da sua idade, com pomares maduros de limão e laranja pode chegar até aos 20 cm de espessura. Esta técnica é muitas vezes combinada com plantio mínimo ou inexistente, como praticado nas Américas. As vantagens da utilização destes resíduos são maiores quando combinadas com outras técnicas tais como o preparo de nível, preparo mínimo, preparo reduzido, sementeira direta e coberturas vegetais.

O objetivo principal de triturar os resíduos de plantas e coloca-los no solo é ajudar os agricultores a ultrapassar o desafio de gerir as sobras de materiais e evitar queimá-los. A queima de resíduos de culturas lenhosas tais como árvores de frutas, citrinos, amendoeiras, e vinhas, tem sido causa de preocupação para a sociedade Espanhola, apesar de o volume de resíduos queimados ser relativamente pequeno e de ocorrer maioritariamente em operações agrícolas de pequena escala onde o acesso a sistemas de trituração ou gestão de resíduos é limitado. Como resultado, mudanças significativas na lei têm sido implementadas nos últimos anos, levando à proibição prática ou a uma queima altamente restrita de resíduos agrícolas, realçando assim a importância de resíduos retalhados para a incorporação dos solos.

A cobertura morta criada por esta técnica serve como uma camada protetora para o solo e age como uma adenda orgânica rica em componentes celulósicos. Esta técnica tem ganho proeminência nos últimos 15 anos, particularmente na agricultura orgânica, que se está a espalhar rapidamente na região de Múrcia. Tem-se tornado uma prática comum nos pomares modernos de citrinos e frutos de caroço, até mesmo em operações de menor porte. Em regiões como o vale Guadalentin e o Campo de Cartagena, onde as culturas hortícolas são

predominantes, os resíduos verdes que sobram são muitas vezes utilizados como alimento para o gado. As restantes partes do tronco e da raiz são, depois, cortadas e adicionadas ao solo. No entanto, esta prática pode resultar em apenas uma pequena quantidade de resíduo ser deixado no solo, diminuindo assim os benefícios da cobertura morta.

Em alguns casos, é possível combinar o uso de resíduos de culturas com fertilizantes verdes ou coberturas verdes anuais. No entanto, o impacto pode ser limitado devido ao efeito supressor da camada orgânica existente. Por conseguinte, é necessário considerar ajustes nas práticas de gestão, e os resultados podem não ser tão eficazes como quando as técnicas são aplicadas de forma independente.



**Figura 14:** Cobertura morta de resíduos à superfície, resíduos de culturas podem ser incorporados ou retidos para proteger o solo contra a erosão e perturbações.

Fonte: Ghasal et al., 2016.

## IMPACTO NA CONSERVAÇÃO DO SOLO E BIODIVERSIDADE:

A trituração de resíduos de culturas tem vários impactos nos solos:

**Efeitos Físicos:** A camada morta, quando chega a uma espessura mínima de 5 cm, fornece proteção significativa aos solos. Esta reduz o impacto das gotas da chuva nas partículas do solo, minimizando a tendência para se desfazerem. Adicionalmente, a camada de madeira cortada funciona como uma esponja, retendo água das primeiras chuvas. Uma vez saturada, ela abranda o fluxo da água, controlando o escoamento e reduzindo a erosão dos solos.

**Melhorias nas Propriedades do Solo:** Ao longo do tempo, a adição contínua e a decomposição de matéria orgânica cria um gradiente de substâncias húmicas dentro do perfil do solo. Isto melhora as propriedades dos solos de várias formas. Fisicamente, melhora a permeabilidade do solo e a estabilidade dos agregados do solo. Quimicamente, devolve alguns nutrientes extraídos pelas culturas de volta para o solo, o que precisa de ser considerado aquando do cálculo do balanço do azoto. O aumento de substância húmicas e as suas interações com partículas minerais do solo também melhoram a capacidade de troca catiónica do solo. Adicionalmente, a presença de cobertura morta ajuda o solo a reter ou a decompor alguns resíduos fitossanitários utilizados nas culturas, impedindo o seu movimento para fontes de água.

**Redução da Evaporação da Água:** A cobertura morta, particularmente este tipo, reduz a evaporação da água através da criação de bolsas de ar dentro da camada de cobertura morta que limita a perda do vapor de água para a atmosfera. As propriedades de isolamento da camada morta também contribuem para uma temperatura do solo mais estável, reduzindo flutuações de temperatura repentinas.

**Melhoria da atividade biológica:** A cobertura morta promove uma comunidade de microrganismos, organismos saprofíticos e artrópodes

decompositores, criando um *habitat* favorável para estes, semelhante a um ambiente florestal. Isto aumenta os níveis tróficos e as inter-relações dentro dos ecossistemas, beneficiando a saúde global da cultura. A presença destes organismos também compete com agentes patogénicos, limitando a sua expansão e fornecendo um efeito antagonista que ajuda a proteger a cultura.

**Supressão de Plantas Adventícias:** Um efeito imprevisto, mas desejável da cobertura morta, particularmente com camadas mais espessas, é a supressão do crescimento da erva. A camada da cobertura morta age como uma barreira, dificultando o aparecimento de plantas indesejadas. Adicionalmente, o uso da cobertura morta melhora as propriedades físicas do solo, tornando-a mais adequada para a maquinaria e para os trabalhadores, mesmo depois de chuvas fortes.

## CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO RECOMENDADAS:

A trituração ou corte de resíduos de plantas pode ser aplicado em terrenos com declives ligeiros ou moderados, mas é necessário um maior esforço em terrenos com declives acentuados. Nos declives acentuados, o fluxo da água pluviais poderá transportar estes resíduos para fora dos campos agrícolas. Nestes casos, é necessário combinar esta técnica com outros sistemas que reduzem o fluxo das águas e que ajudam a manter a cobertura orgânica. Não há limitações relativamente ao tipo de solo, uma vez que este tipo de matéria orgânica melhora significativamente a estrutura, coesão e porosidade dos solos.

Existem, no entanto, limitações operacionais a considerar. A disposição da cultura, as dimensões do pomar ou plantação e a acessibilidade podem colocar desafios para o uso do equipamento necessário, como trituradoras ou picadoras. Por exemplo, plantações estreitas ou irregularmente espaçadas ou pomares, bem como pequenas hortas localizadas em locais de difícil acesso, podem apresentar dificuldades.



Talvez o fator crucial que pode limitar ou desencorajar o uso desta técnica é a presença de doenças bacterianas ou fúngicas que possam afetar gravemente a cultura. Doenças transmitidas pela madeira, cujos ciclos reprodutivos e de dispersão podem ser favorecidos pelos resíduos orgânicos suscitam especial preocupação.

Nesses casos, a cobertura morta é fortemente desencorajada do ponto de vista da saúde da planta. A queima controlada para eliminação imediata seria a ação recomendada nestes casos específicos, apesar de preocupações de diversos setores. Infelizmente, podem-se encontrar diversas doenças fúngicas, e, em menor grau, doenças bacterianas. Alguns exemplos incluem *Esca* e *Eutypa lata* nas vinhas, *gummosis* nos citrinos, *fungos bacterianos* nas pêras, *molinia*, e *Fusicoccum* em amêndoas e frutas de caroço, entre outras. Adicionalmente, vários artrópodes podem não ser efetivamente eliminados ou dispersados quando esta prática não é realizada adequadamente (ex. escaravelho de praga da pera ou broxa-da-madeira).

Outra alternativa em relação ao problema anteriormente mencionado é a incorporação imediata de resíduos recém-triturados nos solos utilizando um semeador ou cultivador. No entanto, esta abordagem resultaria na perda de algumas propriedades protetivas fornecidas pela manta orgânica. Antes de escolher esta opção, é importante reunir informação suficiente sobre a doença específica em análise para avaliar a sua viabilidade.

Do ponto de vista regulamentar, os códigos de boas práticas agrícolas para prevenção da contaminação das águas com nitratos de fontes agrícolas, recomendam esta prática devido à proibição da queima de resíduos das culturas.

## RECURSOS NECESSÁRIOS:

Ao trabalhar com culturas lenhosas, a utilização de um triturador de madeira ou cortador é essencial. Embora equipamentos estáticos semelhantes aos utilizados em jardins urbanos e áreas verdes seja possível, estes não são rentáveis para operações agrícolas regulares. Tal equipamento exigiria o dobro do trabalho, primeiro recolher os resíduos e depois triturá-los antes de os distribuir pelo campo. O uso eficiente deste equipamento seria na compostagem, juntamente com outros resíduos orgânicos como o estrume animal, mas isso envolveria uma técnica diferente.

Equipamento móvel oferece mais flexibilidade, sendo as alfaias montadas em tratores as mais utilizadas. Dependendo do tipo de cultura e das características da madeira, várias larguras de trabalho e sistemas de retalhamento estão disponíveis (martelos, vassouras, tinas, etc.). É importante selecionar o equipamento que melhor se adapte à operação específica, assegurando a trituração fina das peças podadas para evitar problemas de pragas e facilitar a sua posterior decomposição. Alguns equipamentos também incluem sistemas de distribuição ou orientação para a recolha e colocação dos resíduos. Adicionalmente, se a intenção for incorporar os resíduos no solo, o equipamento adequado para essa tarefa deverá ser selecionado alinhado com a estratégia global de conservação do solo.

Por outro lado, a necessidade de maquinaria especializada para culturas herbáceas depende da espécie e das características do restolho produzido. Em alguns casos a lavoura tradicional pode ser suficiente. No entanto, noutros casos, equipamento específico, tal como um cultivador ou uma alfaia semelhante, poderá ser necessário para atingir o nível de retalhamento pretendido.

### **CONCEÇÃO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO:**

No que diz respeito à conceção, não há muito a acrescentar, exceto que para as culturas lenhosas em plantações recentemente estabelecidas, é importante considerar o equipamento que será usado para triturar os futuros resíduos de poda. Isto irá ajudar a otimizar a operação em termos de custo e desempenho, considerando que as despesas serão associadas com a cultura.

Durante a execução, o objetivo é alcançar, através da trituração completa e fina dos resíduos, peças com diâmetros tipicamente entre 1-3 cm. Peças mais pequenas facilitam a decomposição mais rápida. Nas culturas de citrinos, há a consideração adicional de espinhos na madeira, tornando crucial a retalhação adequada para evitar o risco de furos nos pneus ou danos aos operadores.

A prática habitual é deixar os resíduos da poda na fila do meio, onde estes são subsequentemente triturados pela passagem dos triturados, e depois a camada morta é distribuída pelo campo. As aparas da madeira podem ser enterradas utilizando uma ceifeira ou maquinaria semelhante para dar resposta às preocupações das pragas.

Em termos de manutenção, devem ser considerados dois aspetos. Primeiro, poderá haver a necessidade de incorporar resíduos acumulados no solo após diversos anos, particularmente para certas espécies e plantações maduras. Isto pode ser conseguido através da utilização de uma ceifeira ou equipamento semelhante. Em segundo lugar, com plantações mais recentes com biomassa limitada, poderá ser necessário controlar o crescimento de plantas adventícias perto das árvores jovens até que a camada de resíduo se torne suficientemente eficaz no controlo das ervas.

### **POTENCIAL DE MITIGAÇÃO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS:**

O seu efeito sobre o clima é duplo. Em primeiro lugar, redução ou eliminação da lavoura associada a esta técnica contribui para o sequestro de carbono no solo. O armazenamento estável de carbono nos resíduos durante um período extenso é mais uma prova disso. Em segundo lugar, deve ser reconhecido que o retalhamento em si é intensivo em termos de energia. No entanto, quando comparado com a alternativa da queima, que liberta CO<sub>2</sub> para a atmosfera, o balanço é positivo, apesar do uso de combustível. A mesma consideração é válida quando comparada com o transporte e eliminação de resíduos para centros de compostagem ou aterros, especialmente se as distâncias envolvidas são substanciais devido ao grande volume ocupado por estes resíduos.

Além do efeito direto nas emissões e armazenamento de CO<sub>2</sub>, os efeitos indiretos da técnica na fertilidade do solo, recuperação de nutrientes para a cultura e redução da erosão deverão ser considerados. Estes fatores podem, potencialmente, diminuir a necessidade de fertilização e melhorar o desempenho geral.

### **ARTICULAÇÃO COM A POLÍTICA AGRÍCOLA COMUM:**

A Política Agrícola Comum (PAC) proíbe explicitamente a queima de resíduos como um dos requisitos gerais das “Boas Condições Agrícolas e Ambientais (BCAA)”. Esta proibição também está incluída nos mais recentes planos da PAC, incluindo a nova PAC 2023-2027 no âmbito da “Condicionalidade Reforçada”. Isto aplica-se a todos os agricultores ou produtores que recebam pagamentos diretos, independentemente do financiamento da PAC.

## Sebes e Arbustos

**NOME DA TÉCNICA:** Sebes e Matos

**OUTROS NOMES:** Barreiras Vegetais, Vedações Vivas, Estruturas de Conservação de Plantas, Cercas Vivas, Sebes e Arbustos

**TIPO:** Estrutura Vegetal

### DESCRIÇÃO:

Sebes são estruturas vegetais lineares, frequentemente formadas tanto por espécies naturais como cultivadas, normalmente lenhosas (árvores ou arbustos). No entanto, espécies herbáceas de maior porte também podem ser incorporadas. Tradicionalmente, as sebes estão dispostas ao longo dos limites das terras agrícolas ou de parcelas de cultivo individual. No passado, especialmente no Sudeste de Espanha, era comum para espécies frutíferas como as amoreiras, figueiras, marmeleiros, nêspers, pereiras, macieiras, ameixeiras, damasqueiros, limoeiros, laranjeiras e outras como oliveiras ou amendoeiras. Também se plantavam tamareiras, figueiras, loureiros, plantas aromáticas como a erva-cidreira, o alecrim, a salva, espécies ornamentais como as roseiras e algumas espécies florestais (choupos, ciprestes, pinheiros, salgueiros, etc.). O objetivo destas sebes é variado: podem servir de corta-vento, barreiras físicas, ou simplesmente de enquadramento paisagístico. Hoje em dia, estas sebes também são plantadas entre culturas (intercaladas) para um controlo mais eficaz da erosão ou para atrair insetos benéficos.

Na agricultura tradicional espanhola, faixas estreitas de terra, muitas vezes nas margens das parcelas de cultivo, margens da estrada que atravessam a exploração,

socalcos, colinas, etc., onde a agricultura e a lavoura não são normalmente realizadas, são referidas como encostas. Estas encostas estão repletas de vegetação arbustiva e pequena vegetação herbácea xerófila. Devido à sua origem e espécies, estes estão mais alinhados com esta categoria do que as faixas, que são especificamente criadas com espécies herbáceas para um objetivo distinto.

Por outro lado, as matas são estruturas de plantas irregulares compostas de espécies espontâneas ou florestais, que podem ser arbóreas, arbustivas ou herbáceas. Encontram-se geralmente ao longo dos rios, leitos secos, canais de drenagem ou irrigação ou em qualquer outro curso de água, as matas estão normalmente dispostas longitudinalmente na direção do declive, ou, mais precisamente, em linha com o fluxo de água. Aparecem geralmente em vales ou ravinas, formando por vezes pequenas florestas. A sua função principal é a proteção destas margens ou bancos. No entanto, também servem como importantes refúgios, áreas de alimentação e reprodução para a vida selvagem, atuando como corredores ecológicos.

Muitas destas sebes, especialmente as sebes ribeirinhas, são remanescentes da vegetação arbórea e arbustiva natural da zona, deixada para trás após séculos de desflorestação para cultivo. Estas sebes foram preservadas principalmente como separadores entre explorações agrícolas ou devido à inadequação das terras para a agricultura (por exemplo, elevado risco de inundação ou terreno rochoso). Nalguns casos, resultam do crescimento espontâneo da vegetação nos bordos de culturas, margens, declives ou diferenças de altitude entre terrenos agrícolas e socalcos.

Historicamente, muitas sebes e matas nas zonas rurais perderam-se devido à intensificação das práticas agrícolas, principalmente devido à mecanização, que tornou a terra mais uniforme e mais fácil de cultivar. Esta abordagem centrada na produtividade foi tão prevalente que estas áreas foram consideradas

elegíveis para a efetuação de pagamentos diretos aos agricultores. Felizmente, esta tendência inverteu-se significativamente nos últimos anos, devido principalmente ao reconhecimento da UE destas áreas como componentes-chave da paisagem que desempenham um papel crucial na conservação do solo e da água e na preservação da biodiversidade. Atualmente, a Política Agrícola Comum (PAC) reconhece-as como zonas de interesse ecológico, frequentemente incluídas nos cálculos das ajudas aos agricultores, ou como beneficiárias diretas de ajudas específicas de promoção da conservação (Fernández, M.A., 2015).

Do ponto de vista da gestão integrada de pragas, as sebes e matas estão a ser reconhecidas como elementos cruciais do agroecossistema, contribuindo para a conservação e o aumento da biodiversidade de artrópodes nas culturas. Isto, por sua vez, melhora a gestão integrada de pragas nas explorações agrícolas. Os pioneiros da agricultura biológica reconheceram os benefícios destes elementos paisagísticos em vários aspetos da produção agrícola, particularmente a sua capacidade de atrair insetos benéficos.

Atualmente, as sebes são frequentemente utilizadas em todo o mundo para controlar o escoamento e a perda de solo em áreas inclinadas. Para tal, devem ser estabelecidas o mais perpendicularmente possível à linha de declive, seguindo as curvas de nível. Já as matas são normalmente utilizadas para corrigir problemas hidrológicos quando ocorre erosão intensa nas propriedades rurais ou para mitigar a contaminação difusa do uso de agroquímicos nas culturas. Apesar dos seus benefícios, estas estruturas vivas são ainda limitadas ou adotadas com cautela por técnicos e agricultores, devido principalmente a uma falta de compreensão ou de confiança nas suas vantagens. À semelhança da hesitação anterior em relação à libertação de inimigos naturais para controlo biológico, estas estruturas são agora consideradas uma ferramenta integral na proteção das culturas.



**Figura 15:** Sebe a servir de quebra-vento para proteger o campo. Fonte: Michael Patterson (2006)

### **IMPACTO NA CONSERVAÇÃO DO SOLO E BIODIVERSIDADE:**

Em primeiro lugar, esta técnica aumenta significativamente a diversidade vegetal e animal. Inicialmente, a variedade de espécies vegetais aumenta devido às plantas introduzidas pelo agricultor. Com o tempo, as espécies espontâneas locais aumentam à medida que tiram partido das superfícies não perturbadas do solo. Eventualmente, os animais (vertebrados e invertebrados) colonizam estes miniecosistemas em busca de novos locais de alimentação, abrigo ou áreas de reprodução. Como tal, verifica-se um aumento substancial da diversidade de espécies nas explorações agrícolas onde estas estruturas são estabelecidas, em comparação com o seu estado anterior.

Outro aspeto importante é o seu papel na ligação de elementos entre os espaços naturais existentes (corredores ecológicos), particularmente no caso das sebes que se encontram em cursos de água. Além disso, estas sebes são amplamente utilizadas como estruturas de conservação de plantas que são integradas nas

estratégias de controlo de pragas devido à sua excelente capacidade de albergar artrópodes (inimigos naturais das plantas ou polinizadores).

Em termos de conservação do solo, a implantação destas estruturas oferece benefícios significativos:

Primeiro, controlam eficazmente o escoamento superficial, reduzindo a erosão dos solos férteis, particularmente dos nutrientes e matéria orgânica. Da mesma forma, o seu sistema radicular e o abrandamento do caudal das águas superficiais podem reter parte destes nutrientes e o excesso de água em circulação, que é em grande parte absorvida por estas plantas. Diminuem também a contaminação difusa dos produtos fitossanitários através da deriva e do escoamento superficial. Finalmente, estas zonas tornam-se locais de produção abundante de biomassa, parte da qual é devolvida ao solo. Este facto, associado com a ausência de tratamentos e de mobilização do solo nestas áreas, favorece a proliferação de microrganismos decompositores e de plantas simbiotes.

### CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO RECOMENDADAS:

Estas estruturas estáveis podem ser utilizadas em todos os tipos de solos e culturas.

As principais limitações são os fatores económicos (custo de implementação) e a disponibilidade de espaço para a sua implementação.

De facto, utilizar estas barreiras é altamente benéfico quando o terreno tem declives acentuados e outras técnicas de lavoura são insuficientes para controlar o escoamento.

Por último, esta técnica pode ser facilmente combinada com outros métodos de conservação do solo (como socalcos e as curvas de nível, entre outros).

### RECURSOS NECESSÁRIOS:

O primeiro requisito é o das sementes ou plantas para a sebe ou arbustos. A quantidade destas plantas é crucial. Por vezes, as espécies podem não estar imediatamente disponíveis em viveiros, tornando-se difícil obter as quantidades necessárias. Portanto, é vital planear com antecedência para adquirir estas plantas. Solicitar um fornecimento confirmado quando são precisas é uma boa estratégia, embora seja recomendado deixá-las aclimatar-se às condições ambientais locais antes da transplantação.

Em alguns casos, as explorações agrícolas podem ter materiais vegetais apropriados para a propagação de sebes. Esta prática comum pode levar à uma poupança significativa de custos. No entanto, é essencial assegurar que as plantas de origem sejam saudáveis.

Relativamente ao equipamento, podemos utilizar ferramentas já disponíveis na exploração agrícola para a aplicação desta técnica. Por exemplo, um arado de aiveca com varreduras pode ser utilizado para criar sulcos profundos para preparar o terreno, isto é importante para o bom desenvolvimento das raízes.

Durante a preparação do terreno, se possível, seria benéfico aplicar corretivos orgânicos ou fertilizantes em profundidade.

Em regiões mais quentes com baixa precipitação, poderá ser necessária irrigação suplementar. Esta pode ser conseguida através de uma linha lateral de irrigação gota a gota, se disponível, ou em alternativa, a distribuição de água de um tanque.

Na fase inicial, pode ser necessário gerir espécies espontâneas que podem competir com as plantadas. Para isso, um corta-relvas pode ser utilizado, ou se a área não for muito grande, pode ser feita uma monda manual. Opcionalmente, pode-se utilizar uma cobertura vegetal de plástico biodegradável, fazendo pequenos furos para as mudas, se bem que normalmente isto não é necessário.



Por fim, dependendo da espécie plantada, pode ser necessário gerir o crescimento das plantas. Isto pode ser feito através de uma poda manual, ou mais eficazmente, com uma serra ou um aparador mecânico especializado para sebes.

### CONCEÇÃO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO:

A conceção das estruturas vegetais oferece um vasto leque de opções. Em primeiro lugar, é essencial determinar os objetivos principais destas estruturas. Dependendo se o objetivo é plantar sebes como corta-ventos, reduzir o escoamento e evitar a erosão do solo, implementar uma gestão integrada de pragas, melhorar a paisagem agrícola, criar corredores ecológicos, obter produção adicional para autoconsumo ou simplesmente definir limites da propriedade ou campos para pastagens, os requisitos de conceção irão variar significativamente. Embora seja possível integrar múltiplos objetivos, fatores como a área de superfície, a disposição, a geometria, a escolha das espécies e as densidades serão consideravelmente diferentes. Por conseguinte, não é possível fornecer diretrizes específicas nesta ficha técnica resumida. No entanto, é crucial analisar esta informação antecipadamente e consultar a literatura disponível para exemplos específicos que podem ajudar na conceção de fileiras de sebes personalizadas. Esta técnica permite uma ampla personalização com base em preferências e critérios pessoais, utilizando conceitos fundamentais.

Normalmente, são colocados diferentes tipos de sebes à volta da exploração agrícola ou de parcelas individuais, com especial atenção para as áreas que atravessam encostas por forma a controlar riachos ou pequenos leitos de rios secos. Nestes casos, a sua principal função é servir como limites duradouros das propriedades, atuar como corta-ventos para proteger as culturas, melhorar a paisagem ou promover o autoconsumo. No caso das explorações agrícolas em

socalcos, as sebes são colocadas no topo dos mesmos para facilitar a conservação destas estruturas. As raízes da vegetação plantada desempenham um papel crucial na estabilização e fixação do solo circundante, prevenindo a erosão causada pelo escoamento. Para maximizar a diversidade e quantidade de inimigos naturais ou insetos úteis como os polinizadores, bem como minimizar a erosão do solo, as sebes devem ser estabelecidas não só ao longo do perímetro, mas também dentro das parcelas de cultivo. É importante determinar o espaçamento adequado entre sebes para um controlo biológico eficaz, tendo em conta a cultura, as espécies de plantas selecionadas para sebe e a amplitude de movimento ou o alvo dos inimigos naturais que habitam as sebes. O objetivo é permitir que estes insetos controlem pragas específicas. Assim, recomenda-se optar por uma mistura diversificada de espécies e manter distâncias entre sebes que variem entre 20 e um máximo de 50 metros.

Em termos de controlo da erosão hídrica, o ideal é que as sebes sejam plantadas a intervalos específicos ao longo das curvas de nível. O intervalo adequado depende de vários fatores-chave, incluindo o tipo de cultura, as espécies de plantas escolhidas, a largura da sebe, o declive e o comprimento. Estes intervalos influenciam o efeito cumulativo da energia cinética da água durante o escoamento. Estão disponíveis valores indicativos para orientação. Uma maior superfície coberta por estas estruturas produz efeitos mais significativos. Para o controlo biológico, a sebe ocupa cerca de 5-7% da superfície. No entanto, para o controlo da erosão, é aconselhável começar com uma cobertura mínima desta percentagem, que pode aumentar até 50% no caso de declives acentuados. Nestes casos, recomenda-se o cultivo em socalcos.

Outro aspeto vital a considerar é a densidade de sementeira e/ou plantação. Uma densidade de plantação elevada é necessária para estabelecer rapidamente

sebes funcionais. No entanto, certas espécies de grande porte não devem ser plantadas demasiado perto umas das outras para evitar a competição por espaço e recursos, o que pode levar a problemas de viabilidade ou facilitar pragas e doenças prejudiciais.

Relativamente à largura das sebes, sebes mais estreitas, de 1 a 2 metros, são adequadas para promover inimigos naturais, utilizando espécies herbáceas e arbustivas. Para efeitos de controlo da erosão, são preferíveis sebes ligeiramente mais largas, de 2 a 4 metros, utilizando espécies de maior porte, incluindo árvores.

Ao selecionar as espécies de plantas, é essencial realizar estudos preliminares ou recolher informações para determinar características importantes. Estas características incluem a profundidade e o tipo de raízes, o desenvolvimento (diâmetro e altura), a taxa de crescimento, a adaptação ao clima local (rusticidade), a época de floração, a produção de frutos e sementes e os potenciais invasores. A capacidade das espécies para acolher inimigos naturais e potenciais pragas que podem afetar as culturas também deve ser considerada. Investigação recente e os testes em curso visam identificar as espécies e as suas relações simbióticas com estes insetos. Estão disponíveis em *websites* e aplicações móveis com esta informação. Geralmente, é utilizada uma mistura de, pelo menos, cinco espécies diferentes, incorporando espécies lenhosas com arbustos ou espécies herbáceas. No entanto, nas culturas hortícolas, é comum selecionar apenas espécies arbustivas e herbáceas, excluindo as árvores para evitar problemas como o sombreamento excessivo, a queda de folhas nas culturas ou o espaço limitado para as máquinas. Devido as vastas variedades disponíveis, o processo de seleção de espécies é crucial. Uma escolha inadequada pode levar a dificuldades de manutenção ou à entrada de pragas que podem prejudicar as culturas durante períodos prolongados.

É importante avaliar o potencial impacto negativo de espécies selecionadas, particularmente quando uma espécie serve como hospedeiro ideal para uma praga ou doença que afeta a cultura. Os *websites* especializados em pragas podem fornecer orientações sobre este assunto. Para minimizar este problema, evite plantar espécies da mesma família botânica ou do mesmo género que a cultura, uma vez que podem partilhar pragas ou doenças comuns. Ao utilizar uma mistura diversificada de espécies em vez de depender de uma única espécie, é possível evitar que uma única espécie domine a estrutura. É importante ter isto em consideração para que os inimigos naturais se desenvolvam nestas sebes, uma pequena população das próprias pragas ou espécies semelhantes deve estar presente para sustentar estes insetos durante os períodos em que a cultura não está infetada.

A determinação da disposição das plantações no terreno implica muitas vezes seguir padrões de plantação definidos, com uma certa ordem ou um padrão de plantação repetido ao longo da sebe. Por exemplo, um padrão contínuo pode consistir em plantar repetidamente 3 alecrim, 1 oleandro, 1 atriplex e 1 aroeira. No entanto, recomenda-se criar uma mistura aleatória, exceto se uma justificação técnica exigir um padrão específico. Esta abordagem permite obter um resultado mais natural e favorável.

Um cenário específico refere-se à conceção de sebes como corta-ventos. Neste caso, devem ser analisados os ventos dominantes e o risco de geada devido à inversão térmica, a fim de evitar danos causados pelo frio à cultura. A disposição dos corta-ventos não deve atuar como uma barreira ao ar frio que se acumula durante a inversão térmica, como no final de uma encosta de montanha. Por conseguinte, a orientação dos corta-ventos pode diferir significativamente de outros tipos de sebes. Além disso, deve ser tido em conta o grau de proteção

ou a área de influência proporcionada pelos corta-ventos, determinado pela altura máxima das árvores plantadas (que é normalmente cerca de dez vezes a sua altura). Ao selecionar as espécies vegetais para os corta-ventos, é essencial privilegiar as árvores com um efeito protetor conhecido. Além disso, a densidade da plantação deve ser adequada às espécies escolhidas, tendo em conta o seu tamanho final. O corta-vento não deve ser demasiado compacto, permitindo a passagem do ar de forma controlada para evitar efeitos adversos causados por fortes turbulências a sotavento da sebe.

Para arbustos à beira-rio ou em vales, a plantação irregular com espécies alternadas é ideal para criar um aspeto mais natural. Para reforçar as suas funções de filtragem e de proteção das margens, as espécies herbáceas devem ser colocadas a montante, seguidas de arbustos e as árvores mais próximas da margem. Com o tempo, a vegetação natural recolonizará partes destas margens, resultando no aspeto típico da flora à beira-rio. No entanto, nos casos em que é necessária uma correção hidrológica local devido a ravinas ou cursos de água não controlados na exploração, são necessárias intervenções de engenharia. Estas intervenções, acompanhadas de plantações de arbustos para conseguir uma maior estabilidade e naturalidade, não se enquadram no âmbito deste manual.

A preparação adequada do solo é crucial quando se plantam sebes. Isto implica um cultivo minucioso do solo para eliminar qualquer camada compactada. Dependendo da espécie a plantar, a preparação pode ser efetuada através de trincheiras plantadas continuamente, utilizando ferramentas adequadas como uma varredora, um arado de aiveca ou um subsolador. Em alternativa, podem ser criados buracos para plantação individual utilizando uma retroescavadora ou uma broca. Aconselha-se a adição de matéria orgânica e a aplicação de fertilizante

mineral em profundidade. Finalmente, o solo é amontoado e compactado. Deixar um lado das sebes plantadas abaixo da plantação (a montante) ou criar uma pequena vala paralela pode melhorar a retenção da água da chuva durante as fases iniciais da plantação. Em alternativa, um pequeno monte paralelo às sebes a jusante pode servir o mesmo objetivo. Em alguns casos, as sebes podem ser elevadas acima do solo, criando um pequeno planalto ou colina para melhorar o controlo da erosão, particularmente durante os primeiros anos de desenvolvimento da planta.

Em zonas extremamente áridas, pode ser necessário um apoio adicional de irrigação, dependendo da época de plantação e da robustez das espécies selecionadas. Sistemas de irrigação temporários ou tanques de água podem fornecer água suplementar. No entanto, é crucial reduzir ou eliminar gradualmente a irrigação para permitir o estabelecimento adequado das raízes e a autossuficiência na estabilização do solo.

No que diz respeito à manutenção, pode ser necessária uma poda periódica e a remoção de ramos para manter o tamanho desejado da sebe sem invadir a cultura ou para substituir plantas envelhecidas. É importante salientar que estas superfícies não devem ser objeto de fertilizações ou tratamentos posteriores, especialmente quando as sebes são estabelecidas para promover e conservar a fauna benéfica (inimigos naturais), uma vez que tais tratamentos podem ser prejudiciais à sua sobrevivência.

## POTENCIAL DE MITIGAÇÃO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS:

A utilização destas estruturas vegetais oferece dois benefícios fundamentais para as alterações climáticas. Em primeiro lugar, contribuem para melhorar a fertilidade do solo, reduzindo as perdas de solo e de nutrientes. Além disso, podem armazenar quantidades significativas de CO<sub>2</sub> através da produção de biomassa. Esta capacidade de armazenamento pode ser particularmente elevada quando se trata de árvores, atingindo níveis comparáveis aos das florestas. Além disso, a área influenciada pela sebe regista um aumento substancial do teor de matéria orgânica que ultrapassa a largura real da estrutura.

Adicionalmente, a redução das perdas de fertilizantes e o aumento localizado da matéria orgânica resultantes da presença dessas estruturas podem contribuir, em certa medida, para reduzir a dependência de fertilizantes. E ainda, o seu plantio, especialmente quando intercalado na plantação, leva a uma diminuição da mobilização do solo, resultando numa poupança de combustível ao longo do tempo, ainda que modesta.

De um modo geral, estas estruturas vegetais têm um impacto positivo no armazenamento de carbono, o que as torna valiosas como depósitos de carbono.

## ARTICULAÇÃO COM A POLÍTICA AGRÍCOLA COMUM:

No passado, os aspetos multifuncionais destes elementos da paisagem agrícola não foram devidamente reconhecidos no modelo da Política Agrícola Comum (PAC) da UE. Consequentemente, os montantes pagos aos agricultores por estas áreas foram reduzidos, considerando-as “não produtivas”. Felizmente, as autoridades europeias reconhecem agora a importância destes elementos como componentes integrais das diversas zonas rurais da Europa. Reconhecendo os seus benefícios para a biodiversidade e as alterações climáticas, estão agora fortemente incorporados

nos requisitos para os pagamentos diretos aos agricultores (condicionalidade reforçada) e para as ajudas de base aos pagamentos.

Além disso, muitas regiões já incluíram medidas relacionadas com estes elementos nos seus anteriores programas de desenvolvimento rural, tanto para a sua conservação como para novas plantações, tornando-as um requisito obrigatório para receber ajuda agroambiental (Fernández, M.A., 2015).

Finalmente, é importante mencionar que os custos relacionados com a plantação destas estruturas vegetais de conservação podem ser compensados através dos fundos operacionais, no caso espanhol através das Organizações de Produtores de Frutas e Produtos Hortícolas (OPFH). Estas estruturas são vistas como parte das medidas ambientais que devem ser implementadas no contexto destes fundos.



## Rotação e Alternação de Culturas

**NOME DA TÉCNICA:** Rotação e Alternação de Culturas

**TIPO:** Gestão das Culturas

### DESCRIÇÃO:

A rotação de culturas é um método tradicional utilizado desde a antiguidade para preservar a fertilidade natural do solo e salvaguardar as culturas agrícolas, em particular as variedades hortícolas, de problemas fitossanitários indesejáveis resultantes da plantação repetida das mesmas culturas.

Esta abordagem centra-se na criação de uma sequência ou rotação de culturas na mesma parcela de terra durante um período específico, geralmente de 1 a 3 anos. Esta duração depende da intensidade e do tempo de vida de cada cultura. O método consiste em utilizar espécies vegetais que podem coexistir durante algum tempo e que possuem características únicas. Estas características distintas permitem-lhes quebrar o ciclo de vida de pragas específicas, explorar vários perfis de solo, possuir sistemas radiculares diferentes, aumentar a fixação de azoto atmosférico e oferecer outras características úteis.

Recomenda-se a inclusão de pelo menos duas, idealmente três, culturas ou variantes nesta rotação. Estas podem incluir períodos de pousio (períodos de repouso para o solo) ou a utilização de adubos verdes. Esta técnica pode também ser associada a uma gestão sensata do gado. Os restos de culturas ou certas plantas de pastagem benéficas para o gado podem mesmo ser integrados no ciclo de rotação das culturas.

Apesar das numerosas vantagens oferecidas pela rotação de culturas, a intensificação da agricultura – caracterizada pelo advento dos fertilizantes e dos produtos fitossanitários e pela concentração em determinadas culturas orientadas para a exportação em regiões específicas como por exemplo o Campo de Cartagena ou o Vale de Guadalentín – levou ao declínio desta prática. Isto ocorreu porque a diversificação de culturas dificultou a gestão das explorações agrícolas devido à pequena dimensão de muitas delas. Esta situação foi desfavorável às empresas hortofrutícolas que necessitavam de grandes quantidades de um produto específico durante todo o ano para satisfazer a procura comercial.

No entanto, a crescente popularidade da Agricultura Biológica na Região de Múrcia, o aparecimento de certos problemas fitossanitários com medidas de controlo limitadas e os novos requisitos regulamentares começam a alterar esta tendência. Como resultado, muitas empresas agrícolas de grande dimensão, juntamente com produtores de menor escala, começaram a incorporar alguma forma de rotação ou alternância no seu ciclo de produção. Isto inclui a utilização de períodos de pousio temporário, cereais, feijões, girassóis, batatas, entre outros, que são alternados com algumas das culturas mais comuns da região.

Nos Estados Unidos e noutros locais das Américas, as rotações de culturas também servem o objetivo de conservação do solo. Para o efeito, introduzem espécies específicas capazes de aumentar a resistência do sistema solo-planta contra a erosão causada pelo vento ou pela água.



**Figura 16:** Culturas de ervilha e trigo em rotação. Fonte: Mervin St. Luce (2022).

### IMPACTO NA CONSERVAÇÃO DOS SOLOS E NA BIODIVERSIDADE:

A rotação de culturas pode ter um efeito significativo na preservação do solo e da biodiversidade de diversas maneiras:

Em primeiro lugar, um dos principais benefícios da rotação de culturas é o facto de interromper o ciclo reprodutivo de várias pragas e doenças potencialmente nocivas para culturas específicas. Isto é possível através da rotação de diferentes espécies de culturas de famílias botânicas distintas ou da incorporação de períodos de pousio de determinadas durações. Por exemplo, este método é benéfico para as brássicas (como os brócolos, a couve-flor e o repolho) que são frequentemente infestadas por nemátodos do *Heterodera* genus, para a alface afetada pelo *Sclerotinia fungus* ou para os cereais afetados pela *Septoria* ou pelo mosquito dos cereais.

Além disso, a rotação de culturas favorece a biodiversidade ao introduzir novas espécies vegetais. Este aumento da biodiversidade resulta não só das novas espécies de culturas em si, mas também das pragas ou inimigos naturais associados a essas culturas e da microbiota que beneficia dos seus resíduos no solo. Numa escala mais pequena, a existência de uma maior variedade de culturas também diversifica as fontes de alimentação da fauna mais pequena, como as aves e os roedores.

Outro aspeto vital da rotação de culturas é a variação que introduz no perfil do solo. Ao selecionar culturas com diferentes sistemas radiculares que operam a diferentes profundidades do solo e absorvem nutrientes e água de forma diferente, a rotação de culturas permite que o solo e as suas reservas de nutrientes descansam e recuperem naturalmente.

Relativamente à erosão do solo, algumas culturas como cereais podem diretamente melhorar a proteção do solo contra a erosão foliar. Isto deve-se ao seu crescimento denso, ao sistema radicular, e ao restolho que deixam para trás, o que pode melhorar a porosidade do solo e conteúdo da matéria orgânica. Do mesmo modo, os adubos verdes e as pastagens também podem combater a erosão, especialmente quando combinados com outras técnicas como cultivo mínimo, cultivo em contorno, as faixas, as sebes ou os socalcos. Por último, o uso da rotação de culturas reduz geralmente o período em que o solo fica exposto e desprotegido, uma vez que o tempo seria melhor aproveitado com o crescimento destas culturas alternadas.

## CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO RECOMENDADAS:

Esta técnica é ideal para culturas herbáceas, tipicamente anuais ou bienais, e podem ser utilizadas efetivamente em todos os tipos de solo usados em campos de cultivo. Os benefícios da rotação de culturas – evitando plantar as mesmas culturas ano após ano – ajuda a prevenir problemas significativos no solo que podem acabar por afetar o rendimento das culturas.

De uma perspetiva reguladora, os códigos para boas práticas agrícolas tipicamente recomendam a rotação de culturas para controlar a poluição de nitrato das fontes agrícolas.

## RECURSOS NECESSÁRIOS:

Implementar a rotação de culturas pode exigir recursos adicionais, tais como o aumento de equipamento para plantação, transplantar, cultivo e/ou colheitas, ou até o armazenamento de resíduos de culturas para a alimentação do gado.

Frequentemente, o principal desafio ou fator limitador é o tempo, visto que a transição entre culturas, tal como o seu tempo no solo, tem de ser gerido cuidadosamente. Por isso, é importante planear minuciosamente a seleção de culturas usadas na rotação, tendo em conta que as condições climáticas podem alterar significativamente estes períodos de tempo, exigindo que os agricultores se adaptem e respondam a potenciais situações imprevistas.

À medida que as culturas ou as espécies de plantas aumentam, os recursos que são necessários podem variar. Quando espécies regionais pouco comuns são introduzidas, os agricultores terão de planear ou antecipar a aquisição de novas espécies de sementes para a rotação. Para ajudar, os bancos de germoplasma, que têm sido estabelecidos em vários países, podem fornecer material vegetal que pode ser útil. Este material inclui frequentemente cultivares tradicionais que podem estar melhor adaptados às condições ambientais locais das culturas.

## CONCEÇÃO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO:

Na rotação de culturas, a sequência das culturas é tratada como uma única unidade de produção. No entanto, outra abordagem consiste na aplicação desta sequência em unidades ou parcelas diferentes. Esta estratégia, designada como rotação alternada, consiste na divisão da exploração agrícola em várias unidades ou parcelas (também designadas como parcelas – *leaves*). Em cada parcela – *leaf*, as culturas são plantadas em sequência, incluindo nos períodos de pousio e adubos verdes. As culturas mudam a cada ciclo, mudando para outra parcela de forma sistemática. Depois de um certo período, as culturas voltam à parcela original onde a rotação começou. O número e o tamanho das parcelas têm de ser determinado com base nas necessidades de produção (tipos de culturas e rendimento) e período de tempo considerado para esta alternância. Isto vai depender dos períodos de crescimento de cada espécie, com o tempo necessário para a plantação e trabalho preparatório.

Em relação à conceção da rotação de culturas, a seleção de espécies ou culturas alternativas para incluir na rotação é um passo importante deste processo. Vários fatores ou parâmetros devem ser considerados, o que pode incluir alguns ou todos os seguintes:

1. Seleção de espécies de interesse económico significativo para o agricultor ou a empresa de *marketing*.
2. Assegurar a compatibilidade com outras culturas relativamente à plantação e aos períodos de colheita. O objetivo é plantar uma nova espécie logo após a colheita da anterior ou escolher uma espécie com ciclos de produção curtos que podem ser mais compatíveis com outros.
3. A sequência das culturas deve estar alinhada com as estações da área.

4. Utilizar espécies de famílias botânicas diferentes, visto que algumas pragas ou doenças podem afetar um género inteiro.
5. Incluir espécies com sistemas radiculares diferentes, tais como fasciculada, primária, fibrosa, etc., ou com diferentes profundidades
6. Evitar espécies que partilham doenças ou grandes pragas.
7. Optar por espécies com necessidades nutricionais variadas.
8. Se estiverem presentes certas condições de solo, como salinidade, solos argilosos ou pesados, escolher culturas adequadas.
9. Considerar espécies que podem fixar azoto atmosférico, tais como legumes.
10. Incluir espécies com necessidades baixas de água para equilibrar o maior consumo de outras.
11. Considerar espécies com efeitos alelopáticos benéficos; isto é, aqueles cuja a presença ou resíduos pode repelir certas pragas.
12. Selecionar culturas benéficas para a alimentação de gado, tanto diretamente como depois da colheita.
13. No caso de problemas de erosão, considerar espécies que forneçam um controlo de erosão maior.

Uma rotação usada frequentemente implica uma cultura hortícola principal, seguida pelo pousio, cereais, e/ou adubos verdes, ou duas culturas hortícolas de diferentes famílias durante épocas diferentes, com pousio ou adubos verde/períodos de cereais entre elas. Existe literatura abundante a detalhar boas combinações tanto para as culturas herbáceas de sequeiro como para as culturas hortícolas de regadio.

## POTENCIAL DE MITIGAÇÃO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS:

A rotação de culturas pode ajudar a mitigar a necessidade geral de fertilizantes minerais. Além disso, certas espécies que podem ser incluídas na rotação podem precisar de menos fertilização ou preparação do solo (como acontece com alguns cereais), reduzindo o consumo de combustível ou a utilização de energia. Se as leguminosas também forem incluídas na rotação, a necessidade de fertilizantes à base de azoto será significativamente reduzida, baixando assim os custos dos fertilizantes.

Complementarmente, apesar de forma moderada, a capacidade de armazenamento de CO<sub>2</sub> pode também aumentar quando o conteúdo da matéria orgânica aumenta, devido ao aumento dos resíduos das culturas.

## ARTICULAÇÃO COM A POLÍTICA AGRÍCOLA COMUM:

Em períodos anteriores de Programas de Desenvolvimento Rural (PDR) em várias regiões da Espanha, foram incluídas medidas agroambientais como a rotação de culturas, pousios ambientais, ou a utilização de adubos verdes (Fernández, M.A. 2015). A Agricultura Biológica na qual a rotação de culturas é essencial para um sistema agrícola mais sustentável, está-se a tornar um procedimento chave para se receber este tipo de fundos.

Além disso, a nova Política Agrícola Comum inclui, dentro das Boas Condições Agrícolas e Ambientais (BCAA), o uso obrigatório de um número mínimo de rotações ao brigo da Condicionalidade reforçada. Estas rotações devem incluir períodos de pousio e o uso de espécies que fixam o azoto. Tais requisitos são obrigatórios para os pagamentos diretos aos agricultores, um aspeto já requisitado num período anterior na componente de ecologização do pagamento básico do agricultor.



## Lavoura Mínima, Lavoura Nula e Pousio

**NOME DA TÉCNICA:** Lavoura Mínima, Lavoura Nula e Pousio

**OUTROS NOMES:** Lavoura reduzida, Sementeira Direta, Lavoura Zero, Lavoura de Conservação

**TIPO:** Gestão de Lavoura

### DESCRIÇÃO:

A lavoura mínima, também designada de lavoura reduzida, consiste na redução da frequência ou intensidade da lavoura comparada com as práticas convencionais numa determinada região. Isto é conseguido através da diminuição do número de tarefas feitas no solo. Também pode envolver a utilização de instrumentos que causam menos perturbação ao perfil do solo, tal como aqueles que o alteram minimamente (inversão do perfil) ou trabalham numa profundidade superficial (trabalho superficial).

No caso de culturas lenhosas, o principal objetivo da lavoura mínima é evitar completamente qualquer aragem do solo, visto que expõe a superfície a processos erosivos. Para culturas herbáceas, a prática equivalente é designada de sementeira direta. Na sementeira direta, as sementes ou transplantes são plantados diretamente no solo, com alguns resíduos que ficaram da cultura anterior (restolho). O trabalho de preparação mínimo inicial do solo é conduzido durante a plantio ou transplantação. Esta técnica tem emergido como uma alternativa mais sustentável para a queima do restolho, que foi descoberto ser prejudicial à fertilidade do solo e resulta no aumento de emissões de dióxido de carbono.

Outra alternativa, usada frequentemente em programas de ajuda agroambientais específicos com a PAC (Política Agrícola Comum) na Espanha, consiste na restrição da lavoura durante certas épocas do ano, normalmente em períodos de risco de precipitação (primavera e outono) ou em áreas específicas para a proteção de aves (ZEPA) em superfícies cerealíferas durante as épocas de reprodução de espécies de interesse. Esta restrição reduz eficazmente a lavoura durante um tempo. Ao alargar esta abordagem, a técnica do pousio consiste em deixar o solo completamente por cultivar por um período que pode ir de alguns meses até um ano completo. Esta prática tradicional, amplamente empregue no passado quando os fertilizantes e pesticidas ainda não estavam disponíveis, era essencial para restaurar a fertilidade mínima do solo e controlar as pragas nas culturas e agentes patogénicos, particularmente em culturas de sequeiro. Hoje a técnica do pousio está a ser reavivada como um requisito no âmbito dos regulamentos da PAC e dos Programas de Desenvolvimento Rural (PDR), assim como a crescente adoção da agricultura biológica, que restringe a utilização de agroquímicos. A técnica do pousio é considerada uma componente da rotação de culturas, que são descritas noutra secção deste manual.

## EXEMPLO:



**Figura 17:** Plantação de Milho com lavoura nula. Fonte: Shutterstock (n.d)

## IMPACTO NA CONSERVAÇÃO DO SOLO E BIODIVERSIDADE:

As práticas de lavoura têm vários efeitos negativos no solo, incluindo a degradação da estrutura do mesmo, o aumento da mineralização da matéria orgânica quando esta é exposta ao ar e à dessecação, a formação de uma camada compactada (uma camada endurecida devido à passagem de máquinas e instrumentos de corte), e alterações significativas na microbiota do solo devido à solarização. Portanto, qualquer técnica que minimize a lavoura ao reduzir a frequência, a profundidade, ou o grau de revolvimento do solo terá um impacto positivo ao mitigar o impacto potencial destas práticas. Deixar a terra em pousio durante um período adequado ou em momentos oportunos pode melhorar estes benefícios.

Em suma, implementar estas técnicas de cultivo pode resultar numa estrutura do solo melhor, no aumento de permeabilidade, numa melhor capacidade de

infiltração da água, no aumento do conteúdo da matéria orgânica, e numa maior atividade biológica na maioria dos casos. Os períodos de sementeira direta e de pousio, em particular, contribuem para a incorporação de uma quantidade significativa de biomassa no ciclo do solo através da ação microbiana. Estas práticas aumentam a resiliência do solo contra a erosão e melhoram a sua qualidade agronómica.

No entanto, efeitos adversos específicos podem ocorrer em certas condições e tipos de solo. Estes podem incluir a compactação do solo em excesso, o surgimento de agentes patogénicos em culturas específicas (especialmente sem uma rotação de culturas adequada), perda de fertilizantes devido à sua incorporação tardia no solo, e a formação de uma crosta superficial que dificulta a emergência das sementes.

Por exemplo, no caso da lavoura mínima em culturas lenhosas como os olivais, alguns produtores têm recorrido à aplicação de herbicidas para o controlo de ervas, o que pode levar à contaminação do solo por herbicidas ou à translocação do escoamento. Esta técnica tem sido altamente promovida por empresas que publicitam estes produtos. Felizmente, um número crescente de pessoas está a optar por métodos alternativos como ceifar, cortar, eliminar a vegetação espontânea, ou utilizá-la como alimentação para o gado.

Apesar do rendimento inicial diminuir em culturas de sequeiro durante os primeiros anos da implementação da lavoura nula, estudos realizados a longo termo indicam que esta técnicas melhoram gradualmente os rendimentos, chegando ou até ultrapassando os níveis das culturas agrícolas tradicionais. Adicionalmente, consegue-se uma poupança significativa de energia que resulta numa diminuição dos custos agrícolas.

## CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO RECOMENDADAS:

Estas práticas são geralmente adequadas à maioria dos solos, exceto aqueles com problemas físicos específicos como a formação de crostas ou um elevado teor de argila. Nestes casos, as práticas podem fornecer melhorias temporárias ao reforçar a capacidade de infiltração no solo. Outra consideração é a inclinação do terreno, uma vez que a aplicação destas práticas, por si só, não é recomendada para declives entre 5-10% sem estruturas de conservação adicionais.

A lavoura mínima ou a lavoura nula é particularmente adequada para culturas lenhosas, nas culturas herbáceas mais extensivas pode ser relativamente fácil de implementar, como seja para o milho, os girassóis e os cereais. Porém, pode ser menos viável em culturas hortícolas devido à necessidade de remoção de ervas. Este aspeto está mais relacionado com as práticas de sementeira direta.

Quando se implementa a lavoura reduzida, é importante escolher quais os períodos apropriados para o trabalho, evitando as épocas de precipitação mais intensas. Em alternativa, os períodos de pousio podem ser aplicados, o que é recomendado especialmente para culturas hortícolas.

Em termos da rotação de culturas, a plantação contínua e repetitiva de espécies hortícolas ao longo do tempo, podem levar ao surgimento de doenças que podem causar danos significativos, reduzindo a produtividade e o crescente controlo de custos. Em casos extremos, pode resultar em problemas específicos do solo naquela cultura. Este problema tem sido observado nos últimos anos com certos fungos ou nematodes que afetam culturas tais como as de alface e espécies brássicas (couve, couve-flor ou brócolos) no Vale de Guadalentin ou no Campo de Cartagena em Múrcia.

Estas técnicas podem ser combinadas com outras práticas de conservação do solo como a lavoura segundo as curvas de nível, rotações, adubos verdes, socalcos e eliminação de restos de plantas para os benefícios cumulativos serem conseguidos através do seu uso integrado.

## RECURSOS NECESSÁRIOS:

O principal requisito para a lavoura mínima ou reduzida é ter ferramentas adequadas para que a sua realização seja feita com o mínimo de impacto no solo. Alguns exemplos incluem a seleção específica de varredoras ou aivecas, utilizando um cultivador com um comprimento de dentes mais curto, com lâminas para cortar a relva, etc.

No caso da sementeira direta, é necessário a utilização de máquinas mais especializadas. Estas máquinas combinam uma sementeira automática e a capacidade de transplantação com trabalho mínimo para serem criadas as condições ideais para o desenvolvimento vegetal. Também pode incluir a funcionalidade para a colocação de fertilizantes profundos.

De modo a implementar com sucesso estas técnicas, os agricultores irão precisar de ter acesso às ferramentas e máquinas adequadas de acordo com o método específico escolhido, de modo a assegurar uma execução eficiente e eficaz das práticas de lavoura mínima ou nula, tal como a de sementeira direta.

## CONCEÇÃO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO:

Relativamente à conceção, o primeiro passo é avaliar a técnica alternativa mais compatível e adequada baseada em alguns fatores como as culturas desejadas ou as já existentes (para plantas lenhosas), as propriedades físicas e físico-químicas do solo, a disponibilidade de máquinas, e outras considerações relevantes. Uma vez feita esta a avaliação, podem ser tomadas decisões sobre como minimizar a lavoura, evitando ou minimizando quaisquer potenciais efeitos adversos, ao mesmo tempo que se consideram os requisitos de produção da operação agrícola.

Em relação à execução, não há muito que possa ser dito, exceto no que diz respeito à diminuição do número de ocorrências nas práticas de lavoura. Nestes

casos, a decisão mais acertada é escolher as fases fenológicas da cultura ou as condições climáticas que maximizam os benefícios da lavoura enquanto se minimiza o risco de erosão. Por exemplo, numa cultura de sequeira típica da região da Múrcia, podem ser feitas até cinco operações de lavoura, mas este número pode ser reduzido a apenas algumas tarefas. Por outro lado, em culturas cítricas ou frutíferas com irrigação localizada, é relativamente fácil eliminar ou minimizar a lavoura (por exemplo, plantio direto ou uma vez a cada ano ou dois), incorporando matéria orgânica e quebrando qualquer camada dura que possa ter-se formado, se não houver cobertura vegetal.

Quando se aplica a lavoura mínima ou nula às culturas lenhosas, pode ser necessário gerir o crescimento da cobertura vegetal. Tradicionalmente, isto tem é feito com herbicidas, mas mais recentemente estão a ser adotadas alternativas como o corte em altura específica ou a trituração junto com os resíduos da poda. Em períodos críticos, onde a cobertura vegetal precisa de ser completamente eliminada (como durante os meses de verão), todo o terreno pode ser ceifado com um sacho ou passagens niveladas com uma lâmina, embora seja importante garantir que o solo esteja bem nivelado.

Para os períodos de pousio de cereais e outras culturas herbáceas extensivas, o trabalho preparatório pode coincidir com o início da época de maior precipitação (início do outono e da primavera). O objetivo é capturar a maior quantidade de água possível para garantir a emersão e o crescimento ideal das culturas nos primeiros meses. Portanto, é crucial implementar a lavoura de contorno juntamente com outras técnicas, como faixas de cultivo direto, sebes, etc., para mitigar os riscos de erosão.

## POTENCIAL DE MITIGAÇÃO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS:

Estas técnicas têm implicações positivas significativas para as alterações climáticas. Primeiro, contribuem para a redução de combustível que é necessário para atividades agrícolas regulares, resultando numa diminuição notável das emissões de CO<sub>2</sub>. Em segundo, ao minimizar o distúrbio do solo, conseguem melhorar a sua capacidade para o armazenamento de carbono orgânico em forma de compostos como húmus e sustentar uma microbiota mais saudável.

## ARTICULAÇÃO COM A POLÍTICA AGRÍCOLA COMUM:

A Política Agrícola Comum (PAC) considera que estas práticas obrigatórias em zonas de declive como parte dos requisitos gerais para as “Boas Condições Agrícolas e Ambientais (BCAA)”. O cumprimento destas condições é necessário para a qualificação às ajudas agrícolas diretas. A título de exemplo, no próximo período de programação para Espanha, e especificamente para a Múrcia, um dos regimes ecológicos a ser implementado, no âmbito dos regimes de pagamento direto para os agricultores, enfatiza as práticas de rotação de culturas e de sementeira direta nos terrenos agrícolas.



## Lavoura segundo as Curvas de Nível

**NOME DA TÉCNICA:** Lavoura segundo as curvas de nível

**OUTROS NOMES:** Lavoura de nivelamento

**TIPO:** Gestão de Lavoura

### DESCRIÇÃO:

A lavoura segundo as curvas de nível consiste em trabalhar a terra o mais próximo possível das curvas de nível, independentemente da tarefa agrícola ou da implementação utilizada. Isto significa trabalhar de forma perpendicular à linha do declive máximo, criando sulcos e regueiros que abrandam o escoamento e retêm água em pequenos canais (sulcos) dentro do solo. Esta técnica reduz a erosão da água e aumenta a acumulação da mesma no perfil do solo, melhorando a utilização da água nas culturas. A lavoura segundo a curva de nível é associada à utilização de socalco, o que também serve como ponto de referência para implementar esta prática durante o desenvolvimento das culturas.

Esta prática tradicional é usada amplamente em culturas de sequeiro, particularmente em regiões com períodos extensivos de precipitação baixa. O seu propósito é otimizar a utilização da precipitação durante as épocas mais chuvosas. A lavoura segundo as curvas de nível tem sido tradicionalmente utilizada, quase como um requisito, nas áreas Mediterrâneas com encostas, declives, ou ravinas com declives ligeiros a moderados. É utilizado para ambas as culturas herbáceas (como cereais, girassóis e legumes) e culturas lenhosas como o olival ou o amendoal. Porém, devido à mecanização e expansão das culturas, esta prática

tem entrado em declínio. A lavoura vertical ao longo do declive tornou-se mais popular à medida que se tornou mais conveniente e rápida do que a lavoura segundo as curvas de nível. Além disso, o aumento do uso de fertilizantes reduziu a importância da fertilidade natural do solo na perspetiva do agricultor.

É importante sublinhar que enquanto a lavoura segundo as curvas de nível pode controlar a erosão nas culturas herbáceas, pode funcionar contra nós em declives muito acentuados, em áreas com precipitação intensa em períodos curtos, ou em solos com permeabilidade baixa (solos argilosos ou solos limosos). Nestes casos, pode levar à formação de riachos quando se trabalha a favor do declive. Adicionalmente, culturas hortícolas podem enfrentar o desafio adicional do aumento da incidência de doenças causadas por fungos devido à saturação prolongada do solo.

Em culturas lenhosas, a lavoura segundo as curvas de nível pode ser combinada com a lavoura reduzida de modo a minimizar a frequência da lavoura por ano. Em alternativa, uma parte da linha intermédia, entre as linhas de árvores, pode ser deixada sem ser lavrada, reduzindo a área que necessita de ser arada. Ambas as abordagens podem melhorar significativamente o controlo da erosão. A plantação de áreas não cultivadas como faixas de conservação seria ainda mais benéfica, uma vez que as faixas de conservação são altamente eficazes na conservação do solo.

Com o passar do tempo, o revolvimento do solo seguindo o contorno das linhas centrais das culturas lenhosas pode criar sulcos suaves à volta da base do tronco da árvore devido à gravidade. Este facto aumenta a irregularidade do terreno e torna os processos erosivos moderados mais difíceis.

## EXEMPLO:



**Figura 18:** Exemplo de lavoura de contorno de um campo na Geórgia, E.U.A.  
Fonte: Jeff Vanuga / USDA Natural Resources Conservation Service (2011).

## IMPACTO NA CONSERVAÇÃO DO SOLO E BIODIVERSIDADE:

A lavoura segundo as curvas de nível cria sulcos no solo perpendiculares ao fluxo do escoamento, resultando em irregularidades do terreno que reduzem parcialmente a energia cinética da água e a sua capacidade erosiva (conhecida como um efeito de laminação local). Simultaneamente, promove a acumulação da água numa pequena escala, ao longo de todo o seu comprimento, e numa certa profundidade dependendo da alfaia utilizada. Isto pode reduzir significativamente o volume da drenagem inicial e o risco da formação de riachos enquanto melhora a infiltração da água.

No entanto, um estudo recente realizado em condições mediterrânicas, no centro de Espanha, indicou que a lavoura em contorno pode levar a um aumento da erosão em comparação com a lavoura na direção do declive, particularmente durante episódios de chuva intensa em curtos períodos de tempo (Cermeño, I.

2018). Este facto revela as limitações desta técnica no que diz respeito ao declive do terreno onde é aplicada e à presença ou ausência de outras medidas que aumentem a resiliência do terreno face a estes episódios extremos com maior potencial erosivo.

Por outro lado, estudos mais recentes sugerem que a lavoura segundo as curvas de nível tem um maior impacto na erosão mecânica, que se refere à erosão causada pelo movimento das partículas do solo resultante do revolvimento e do efeito da gravidade. Como método de lavoura de conservação, é mais favorável à redução da erosão mecânica do que a lavoura na direção do declive.

Relativamente à biodiversidade, a lavoura segundo as curvas de nível não tem impacto direto, mas contribui indiretamente para a retenção do solo, de nutrientes e matéria orgânica. Isto ajuda a manter a qualidade do solo e a sua capacidade para suportar a vida vegetal, animal e microbiana.

Finalmente, é importante referir que a lavoura segundo as curvas de nível não é uma técnica permanente. Os seus efeitos duram apenas alguns meses, após os quais devem ser repetidas as culturas lenhosas (pelo menos uma vez por ano) ou aquando da preparação do terreno para a sementeira ou para a plantação de culturas herbáceas. No caso das culturas hortícolas, deve ser efetuado sempre que seja necessário proceder a uma mobilização do solo para controlar as ervas ou quebrar a superfície endurecida.

## CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO RECOMENDADAS:

A lavoura segundo as curvas de nível é considerada, no geral, adequada para todos os tipos de solo e culturas, é altamente eficaz na retenção da água depois de precipitação moderada, particularmente em declives ligeiros entre 1% a 10%. No caso das espécies lenhosas, é possível gerir declives até 15%. No entanto, é importante realçar que esta técnica, por si só, pode não ser suficiente para evitar

o escoamento após chuvas fortes ou em declives mais acentuados. Por isso, é recomendada a combinação da lavoura segundo as curvas de nível com outras técnicas de conservação. Métodos alternativos como socacos, colinas, cultivo em faixas, e/ou sebes são mais aconselháveis para declives muito acentuados onde a manobrabilidade dos tratores é mais difícil.

Tipicamente, a orientação da plantação das culturas herbáceas ou das árvores alinha-se com a direção da lavoura para facilitar o cultivo. Atualmente, em várias plantações de culturas lenhosas, este tipo de trabalho é feito utilizando planaltos de plantação, particularmente em casos dos citrinos no Leste de Espanha ou em socacos nos olivais, pomares, vinhas ou amendoais.

Embora o princípio fundamental da lavoura em curva de nível seja o de seguir rigorosamente as curvas de nível, pode haver casos em que uma topografia adversa (ravinas, barrancos, rochas, etc.), um espaço de manobra limitado ou um escoamento natural diferente da direção do declive tornem impraticável ou inútil o cumprimento rigoroso desta regra em certos seções.

De um ponto de vista regulamentar, os códigos de boas práticas agrícolas consideram geralmente a lavoura segundo as curvas de nível como recomendada ou obrigatória consoante o declive do terreno.

### **RECURSOS NECESSÁRIOS:**

A lavoura segundo as curvas de nível não requer máquinas ou equipamentos especializados, exceto em explorações agrícolas com declives altos onde o trator deve ser adequado para trabalhar nesta direção sem risco de se virar ou escorregar, assegurando a segurança do/a operador/a. Os equipamentos com GPS são altamente vantajosos, visto que permitem uma execução mais precisa da lavoura, especialmente em culturas herbáceas.

Atualmente, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) fornecem mapas precisos com curvas de nível ou precisão de alta altitude para a área visada. Na ausência de ferramentas modernas como GPS, teodolitos ou estações totais para levantamentos topográficos, as cartas topográficas do terreno podem ser diretamente utilizadas. Em alternativa, podem ser utilizados métodos mais antigos para definir as curvas de nível. Outra abordagem relativamente simples para aproximar as linhas de declive máximo é a utilização de aplicações como o Google Earth™, que fornece valores altimétricos do terreno, permitindo a criação de perfis de terreno ao longo de percursos específicas, embora com uma precisão potencialmente inferior.

No caso das culturas lenhosas, a colocação das linhas de plantação deve ser objeto de uma atenção especial, uma vez que, ao contrário do que acontece nas explorações de plantas herbáceas, não é fácil fazer ajustamentos posteriores.

### **CONCEÇÃO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO:**

Em termos de conceção, existem poucas diretrizes específicas para a lavoura segundo as curvas de nível, para além do requisito fundamental de alinhar rigorosamente as linhas da lavoura com as curvas de nível.

Um fator limitador a considerar é o declive do terreno que não deve ser acentuado. É recomendado que o declive seja no máximo de 3-5% para as plantas herbáceas, enquanto que para as plantas lenhosas, não deve exceder os 7-10%, se a lavoura segundo as curvas de nível for aplicada sozinha sem o apoio de outras técnicas complementares. Isto é particularmente importante quando se lida com solos menos permeáveis.

Quando se implementa a lavoura segundo as curvas de nível, durante a preparação do solo para a sementeira ou plantação devem ser tidas em conta as seguintes considerações:

O espaçamento entre linhas depende da cultura específica ou pretendida. Geralmente, uma maior profundidade e largura do sulco irá aumentar a sua capacidade de retenção da água. No entanto, isto pode ser limitado pelas propriedades físicas do solo, tais como a permeabilidade e a estrutura.

A largura do sulco tem tipicamente um mínimo de 25 cm distância entre o topo do rego, enquanto que a profundidade deveria ser pelo menos de 20 cm durante a preparação da terra. No entanto, a profundidade real pode variar dependendo dos instrumentos disponíveis na exploração agrícola, tais como aiveca, grades, arados de disco, e varredoras.

Se a drenagem da água excessiva for controlada, através de um canal de drenagem, as linhas da lavoura podem ser estabelecidas com um declive de 1.5-2%. Isto facilita a drenagem da água excessiva que pode, por outro lado, resultar em fluxos de água incontroláveis e problemas fitossanitários, especialmente em culturas hortícolas. Este tipo de conceção é particularmente importante em solos com baixa permeabilidade, tais como solos argilosos e solo limosos.

Em áreas propensas a episódios de precipitação intensa, especialmente em declives acentuados, devem ser incorporadas estruturas adicionais que facilitem a retenção da água ou o controlo da drenagem. Por isso, recomenda-se que o comprimento máximo das faixas de cultivo não ultrapasse os 50-100 metros sem a inserção destas estruturas. No entanto, esta recomendação pode variar dependendo do declive da encosta e a cultura específica que está a ser cultivada.

Para facilitar a implantação da lavoura segundo as curvas de nível, é benéfico criar um plano preliminar e/ou reconsiderar o uso do terreno. Isto pode ser

conseguido através de marcadores, como estacas, espaçados a intervalos regulares de 10-15 metros ou mais no caso das culturas lenhosas. Estes marcadores servem como linhas de referência nas quais a lavoura será realizada ao longo das curvas de nível.

Em termos de instrumentos, recomenda-se a utilização de alfaias que efetuem um trabalho vertical sem virar, como os arados de espigão ou de cinzel, as varreduras, os arados de disco ou os subsoladores. Os arados de aiveca tradicionais devem ser evitados.

A manutenção da lavoura segundo as curvas de nível não é necessária visto que não envolve estruturas físicas permanentes. O trabalho é renovado a cada nova cultura herbácea ou numa base anual para as culturas lenhosas. No entanto, pode ser realizada uma subsolagem mais profunda para melhorar a capacidade de infiltração do solo, especialmente após muitos anos de lavoura. A utilização de um instrumento do tipo “subsolador” é particularmente eficaz, visto que quebra as camadas compactadas formada pela lavoura e ajuda a criar canais de drenagem profundos.



## POTENCIAL DE MITIGAÇÃO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS:

A aplicação da lavoura segundo as curvas de nível pode implicar alguns desafios ou incómodos para os agricultores, mas pode contribuir para reduzir ligeiramente o consumo de combustível. Isto porque o movimento do trator não envolve a passagem de níveis mais altos para níveis mais baixos e vice-versa, como acontece com a lavoura que segue o declive.

Além disso, a lavoura segundo as curvas de nível ajuda a diminuir a perda de solo e nutrientes, o que pode resultar em rendimentos um pouco mais elevados por hectare a longo prazo, em comparação com a lavoura que segue o declive. Além disso, a necessidade de fertilizantes minerais pode ser ligeiramente reduzida.

É importante referir que, a lavoura segundo as curvas de nível também ajuda a prevenir a perda da camada superior do solo (camada fértil) que pode ocorrer na lavoura em declive a longo prazo. A preservação desta camada é crucial para a manutenção da capacidade da terra para sustentar o crescimento das culturas, particularmente em casos extremos.

## ARTICULAÇÃO COM A POLÍTICA AGRÍCOLA COMUM:

Há muitos anos que a Política Agrícola Comum considera a lavoura segundo as curvas de nível como um requisito para as zonas de declive no âmbito dos requisitos gerais “Boas Condições Agrícolas e Ambientais (BCAA)”. Está incluída no programa mais recente como parte da condicionalidade e o seu cumprimento é necessário para a maioria das ajudas diretas concedidas aos agricultores.

## Cultivo em Faixas

**NOME DA TÉCNICA:** Cultivo em Faixas

**OUTROS NOMES:** Faixas de Plantas, Cultura em faixas, Faixas de Proteção em Curvas de Nível

**TIPO:** Gestão de Lavoura; Cobertura Vegetal

### DESCRIÇÃO:

O cultivo em faixas é uma estratégia de conservação do solo extremamente eficaz amplamente adotada na Espanha já há vários anos (Andreu, J. 1945). Consiste na instalação de filas ou “faixas” estreitas das plantas herbáceas perenes, normalmente gramíneas, que seguem a inclinação do terreno. Estas faixas servem como cobertura vegetal intermitente e estão tipicamente situadas entre as fileiras das culturas.

Embora este método seja frequentemente utilizado em culturas herbáceas, também demonstra eficácia em culturas lenhosas, particularmente quando não é necessária uma cobertura vegetal completa. A espécies herbáceas são densamente plantadas; se as faixas forem preservadas, as espécies espontâneas podem proliferar naturalmente com o tempo. A largura e a distância entre estas faixas podem ser constantes ou variáveis, sendo idealmente decididas em função do declive do terreno e do tipo de cultura a cultivar.

O procedimento habitual consiste em lavrar o terreno ao longo das suas curvas de nível para plantar estas faixas. No entanto, pode ser determinado um alinhamento de culturas diferente quando se trata de um declive ligeiro ou de um espaçamento mais alargado entre faixas.

Uma abordagem alternativa consiste em utilizar estas faixas como zonas de pousio a longo prazo, alternando com a rotação de culturas. Neste método, as faixas herbáceas são lavradas para o cultivo de culturas após um período significativo, enquanto a área anteriormente cultivada é estabelecida como as novas faixas. Nestes casos, as faixas cobririam 50% da área cultivada, e seriam escolhidas espécies benéficas para a agricultura, como os cereais.

Outra possibilidade é utilizar estas faixas como campos de pastagem para o gado, integrados com a cultura principal. Para garantir a sua eficácia contínua, a densidade do gado deve ser gerida ou a pastagem deve ser interrompida periodicamente, para permitir a regeneração natural do ecossistema.



**Figura 19:** Exemplo de cultura em faixas com inter-cultivo nos Estados Unidos.

Fonte: Tin Man (2021), The Combien Forum.

## IMPACTO NA CONSERVAÇÃO DO SOLO E BIODIVERSIDADE:

A implementação do cultivo em faixas pode ter um impacto positivo na conservação do solo. Estas superfícies não perturbadas com cobertura vegetal têm uma grande capacidade de retenção de água e de nutrientes, como os nitratos, atenuando assim a perda de solo e minimizando a formação de cursos de água. A eficácia destas faixas é diretamente proporcional à sua largura e à frequência da sua utilização. Além disso, as regiões ocupadas pelas faixas costumam apresentar maior conteúdo de matéria orgânica, uma presença maior de microrganismo e maior biodiversidade em relação às áreas cultivadas. Esta biodiversidade pode ser ainda mais rica se a cobertura vegetal surgir espontaneamente, em vez de ser plantada intencionalmente. Assim, uma espécie plantada pode revelar-se benéfica por razões agronómicas, como a incorporação de adubo verde na rotação ou a estímulo de insetos benéficos como os polinizadores ou os predadores naturais associados à cultura.

Quando são criadas faixas de plantas com uma largura substancial (de vários ou mesmo dezenas de metros), estas podem atuar como corredores ecológicos significativos para a vida selvagem local. Tal como acontece com muitas práticas de conservação, quanto mais tempo estas faixas forem mantidas, mais benéficos se tornam os seus efeitos.

## CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO RECOMENDADAS:

O cultivo em faixas está normalmente associado a culturas herbáceas extensivas, como cereais, ou culturas industriais como soja, girassol e milho. Os cenários que envolvem declives significativos, a técnica também pode ser utilizada em plantações de culturas lenhosas, se o relevo da exploração agrícola proporcionar um espaço adequado para as faixas.

Em termos de compatibilidade do solo, não existem restrições específicas, no entanto declives acentuados podem precisar de incorporar estruturas de conservação adicionais para prevenir a formação de cursos de água ou voçorocas.

A nível regulamentar, os códigos de boas práticas agrícolas consideram frequentemente a utilização do cultivo em faixas como aconselhável ou mesmo obrigatória, dependendo em grande medida do declive do terreno.

### RECURSOS NECESSÁRIOS:

Os meios necessários são semelhantes aos da lavoura segundo as curvas de nível, incluindo um semeador e um rolo para a plantação das espécies selecionadas nestas faixas. Além disso, é necessário um cortador de relva ou uma máquina de monda para a sua manutenção, ou pode ser utilizada uma ceifeira debulhadora se as faixas forem de culturas cerealíferas ou similares.

### CONCEÇÃO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO:

Na conceção das faixas, estas são tipicamente estabelecidas longitudinalmente, continuamente ao longo das curvas de nível. Se existirem outras estruturas de conservação, como socalcos ou margens, estas faixas são geralmente colocadas a montante das mesmas, permitindo que os declives acolham vegetação protetora (tanto natural como plantadas) para aumentar a estabilidade e a proteção contra a erosão.

Para as espécies lenhosas, a plantação é geralmente efetuada perto da linha de árvores, normalmente a montante. No entanto, as faixas são por vezes plantadas no meio da fila como cobertura. Ao contrário das culturas herbáceas, estas faixas não são aplicadas em todas as filas, mas seguem um padrão alternado, conforme necessário.

Existem duas considerações fundamentais durante a plantação, nomeadamente a largura da faixa e a frequência da sua distribuição, ou o espaço entre elas, em relação ao seu posicionamento.

A abordagem a adotar durante a conceção recomendada coloca uma parcela cultivada na parte mais alta do declive, seguida de uma faixa a jusante. Esta sequência é repetida, movendo-se em sentido descendente. Idealmente, deve ser estabelecida uma faixa final mais larga no limite inferior da plantação, especialmente se houver um curso de água ou canal de drenagem abaixo que possa receber escoamento.

Quando os terrenos cultivados fazem parte da Rede da Natura 2000 e perto de áreas arborizadas e arbustivas, a conceção das faixas pode ser realizada de modo a conectar estes elementos naturais, funcionando como um corredor ecológico para a vida selvagem.

Em termos da frequência das faixas ou o espaçamento no solo, o fator limitador é a largura das máquinas necessárias para o trabalho agrícola e a colheita das culturas. A largura da cultura entre as faixas de proteção deve exceder, pelo menos, a largura máxima de quaisquer alfaias ou equipamentos utilizados. As faixas devem ter um espaçamento mínimo de cerca de 25 m e máximo de 100 m. No entanto, para faixas mais largas, devem ser consideradas distâncias maiores. Um método prático para determinar esta distância seria observar a distância máxima a que o escoamento e a formação de regos começam a ocorrer no terreno e na cultura. Esta distância observada deve ser a máxima considerada.

A largura das faixas pode variar muito. Estas devem ter pelo menos 2-3m de largura para reterem a água eficazmente, mas não devem ser mais largas do que metade do comprimento da fileira da cultura onde estão posicionadas. Por exemplo, em culturas de cereais em declives baixos, as faixas podem ter uma

largura entre os 5-10m, mas têm de ser posicionadas espaçadamente. O total da superfície da área ocupada deve ser entre 7-50%, dependendo do declive.

Nestas faixas, podem ser utilizadas várias espécies vegetais, incluindo espécies herbáceas com interesse agronómico, como leguminosas, cereais, outras gramíneas ou compostas, ou uma mistura destas; espécies com possíveis efeitos alelopáticos (atração ou repelência de insetos); ou refúgio para insetos úteis. Com o passar do tempo, as espécies inicialmente estabelecidas podem ser deixadas recuar a favor de espécies herbáceas locais que recolonizam gradualmente estas áreas. No entanto, as gramíneas são geralmente as mais adequadas em condições semiáridas com o objetivo de reduzir a erosão e melhorar a retenção do solo.

Ao plantar as espécies selecionadas, é importante considerar os períodos do ano em que ocorre a maior precipitação na área, para garantir um crescimento adequado destas faixas. Se a precipitação for escassa, poderá ser necessária alguma irrigação.

A manutenção pode incluir a replantio de espécies anuais com baixa capacidade de auto sementeira ou o corte, a trituração ou o pastoreio para espécies perenes, a fim de evitar o crescimento excessivo ou a proliferação de espécies arbustivas. O intervalo entre cada intervenção depende das espécies vegetais presentes nas faixas, da sua taxa de crescimento e das condições climáticas. É de notar que estas superfícies podem ser utilizadas como áreas de nidificação para aves, pelo que os períodos de nidificação devem ser evitados para evitar danos. Algumas ajudas agroambientais da PAC contemplam restrições temporárias aos períodos de colheita.

Em casos de acumulação significativa de sedimentos nestas superfícies, pode ser aconselhável redistribuir estes sedimentos de poucos em poucos anos. Se não forem redistribuídos, podem formar-se montes ou socalcos, oferecendo benefícios adicionais na conservação do solo.

## POTENCIAL DE MITIGAÇÃO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS:

Embora esta técnica reduza efetivamente a superfície cultivada, também reduz proporcionalmente ou ainda mais significativamente o consumo de combustível devido à lavoura segundo as curvas de nível implementada. A perda de solo e de nutrientes diminui, aumentando potencialmente os rendimentos a longo prazo por hectare para a área efetivamente cultivada, mesmo que tal não seja o caso para a área total. Consequentemente, as necessidades de fertilizantes também são significativamente reduzidas.

É importante notar que este método aumenta o conteúdo de matéria orgânica nas áreas implementadas. Isto é conseguido através da redução das perdas da lavoura e através da biomassa acumulada nestas faixas a partir dos resíduos das plantas herbáceas plantadas. O efeito combinado resulta numa redução das emissões de CO<sub>2</sub> e num aumento do carbono orgânico.

## ARTICULAÇÃO COM A POLÍTICA AGRÍCOLA COMUM:

Durante muitos anos, a Política Agrícola Comum impôs esta prática nas zonas com declives no âmbito dos requisitos gerais das Boas Condições Agrícolas e Ambientais (BCAA). Na última programação, na rubrica “Condicionalidade”, esta prática é um requisito para a maioria das ajudas diretas.



## Associação de Culturas

**NOME DA TÉCNICA:** Associação de Culturas

**OUTROS NOMES:** Culturas Mistas, Intercaladas, Múltiplas ou Complementares, Cultivo em Faixas, Policulturas

**TIPO:** Gestão de Culturas

### DESCRIÇÃO:

Ao contrário da rotação de culturas, a cultura intercalar representa o cultivo simultâneo de diferentes espécies de plantas no mesmo campo, divididas em subunidades menores ou completamente misturadas. Tipicamente, duas culturas diferentes são intercaladas, embora o número possa ser aumentado, contribuindo assim para a biodiversidade do ecossistema agrícola. Esta técnica visa diversificar a população de culturas num campo, mitigando problemas relacionados com a monocultura e incentivando inimigos naturais de pragas ao proporcionar oportunidades alternativas de alimentação ou refúgios para as pragas. Alguns agricultores também observam potenciais aumentos de produtividade ao empregar a associação de culturas em oposição ao cultivo de culturas individuais.

Em muitos casos, as culturas associadas são dispostas numa distribuição geométrica específica, como faixas de cultivo extensivo ou uma combinação de espécies arbóreas com herbáceas seguindo um padrão linear, como filas de cultivo da espécie mais alta. Também pode haver desenhos menos regulares e, em alguns casos, observa-se uma mistura total de espécies, como nas culturas destinadas à forragem ou pasto para animais.

Os horticultores urbanos que utilizam a associação de culturas podem oferecer uma gama mais vasta de produtos aos seus clientes. Para culturas lenhosas, a associação de culturas oferece um impulso económico, particularmente quando as árvores ainda são jovens e deixam uma superfície aberta que pode ser utilizada por um período específico com esta prática, cultivando legumes ou outras culturas de interesse. Em alguns casos, vemos filas de árvores ou plantas a crescer quando a plantação lenhosa original foi substituída por outra cultura, o que é frequentemente observado no cultivo de vegetais.

A cultura intercalar também é empregue por uma variedade de outras razões, como o uso de algumas espécies para melhorar a qualidade do solo e auxiliar a cultura principal, para moderar nutrientes excessivos no solo (como o azoto), ou tradicionalmente, o uso de certas espécies para consumo pessoal (por exemplo, árvores frutíferas e oliveiras), ou produção em pequena escala de produtos artesanais como conservas, sabões, etc. Neste último caso, essas culturas assemelham-se mais a sebes do que a culturas propriamente ditas.



**Figura 20:** Espargos selvagens e outras culturas em olivais na Itália. Fonte: Adolfo Rosati (2017).

## IMPACTO NA CONSERVAÇÃO DO SOLO E BIODIVERSIDADE:

O impacto desta técnica agrícola na biodiversidade é notável, uma vez que o aumento da variedade de espécies dentro de uma única plantação expande o número de organismos a ela relacionados, como artrópodes, microrganismos, etc. Naturalmente, se mais agricultores adotarem este método de cultivo, o seu efeito será amplificado.

Além disso, ocorre uma estratificação vegetal mais rica quando espécies herbáceas e lenhosas são combinadas. Isso leva a mais áreas para abrigo ou reprodução e novas fontes de alimento, incentivando grandemente o surgimento de outras espécies bastante diferentes das intercaladas em comparação com cada cultura cultivada separadamente.

Esta diversidade também beneficia o solo. Dependendo das espécies utilizadas, pode melhorar a proteção do solo e aumentar o conteúdo de matéria orgânica.

Uma vantagem crucial da associação de culturas é o seu potencial para controlo de pragas ou doenças. As descontinuidades criadas, por exemplo, por faixas alternadas, dificultam a propagação de qualquer problema fitossanitário. Algumas plantas, como as árvores altas ou as espécies herbáceas, podem até oferecer proteção física (atuando como barreiras) contra pragas para outras culturas. Além disso, certas espécies cultivadas apresentam características alelopáticas, funcionando como repelentes (muitas espécies aromáticas), atrativos (culturas-armadilha) ou fomentando o crescimento de inimigos naturais ou concorrentes que ajudam a controlar o desenvolvimento de pragas. Um exemplo disto é o cultivo de cereais ao lado de árvores cítricas. Infestações de afídeos na cultura de cereais podem desencadear o aparecimento de predadores e parasitoides, que podem depois deslocar-se para as árvores cítricas, ajudando

a controlar as diferentes espécies de afídeos que as atacam. Esta estratégia de Manejo Integrado de Pragas (MIP) poderia efetivamente reduzir o uso de produtos de proteção de plantas.

Além disso, algumas plantas podem atrair polinizadores, que podem auxiliar na polinização de outras culturas. Isto é observado, por exemplo, quando as amendoeiras e as cerejeiras são intercaladas com espécies labiadas e compostas e legumes frutíferos como os pimentos e/ou os tomates.

## CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO RECOMENDADAS:

Existem poucas restrições a esta técnica e, em geral, ela pode ser adaptada para se adequar a quase todas as culturas, sejam elas herbáceas, hortícolas ou espécies lenhosas. A principal exceção é a dimensão da exploração, pois em plantações muito pequenas, a associação de culturas não é viável e a subdivisão da produção em várias culturas não é rentável. Nestes cenários, pode ainda ser aplicada, mas em menor escala ou para consumo próprio.

No caso das culturas lenhosas, se a disposição da plantação for demasiado densa, pode ser desafiador gerir a cultura herbácea ou hortícola que é plantada.

Outro obstáculo vem da gestão das próprias plantas intercaladas. Frequentemente, estas têm diferentes necessidades de fertilização e rega, o que pode complicar a utilização desta técnica. A aplicação de produtos fitofarmacêuticos também deve ser considerada. Em muitos casos, certos ingredientes ativos não são aprovados para ambas as culturas, e a proximidade aumenta o risco de contaminação devido à deriva ou escoamento do produto. Por isso, a Agricultura Biológica é mais propícia a esta técnica, uma vez que os poucos compostos ativos aprovados tendem a ser mais genéricos. Em alternativa, pode não haver produtos disponíveis para combater algumas destas pragas.

## RECURSOS NECESSÁRIOS:

A implementação da associação de culturas pode exigir um aumento de equipamento para tarefas como a plantação, a transplantação, tratamento e colheita, à semelhança da rotação de culturas, embora o efeito seja menos significativo. Contudo, outro desafio ao nível profissional é a necessidade de avaliar a compatibilidade das culturas associadas. É essencial garantir que estas culturas estão adaptadas aos ciclos de cultivo, gestão e mecanização, fertilização e irrigação, tratamentos contra pragas, etc., para prevenir quaisquer problemas de gestão. Por causa disso, o uso da associação de culturas tem crescido nos sistemas de Agricultura Biológica. No entanto, com um planeamento cuidadoso, algumas combinações de culturas benéficas também podem ser introduzidas em sistemas agrícolas mais intensivos, considerando os cuidados acima mencionados.

## CONCEÇÃO, EXECUÇÃO E GESTÃO:

Vários modelos podem ser utilizados para implementar a associação de culturas. Tipicamente, utilizam-se faixas relativamente grandes intercaladas com a cultura principal. O tamanho destas faixas depende do objetivo e das espécies a serem combinadas com a cultura principal. Em alguns casos, quando ambas as culturas são de igual importância, a exploração agrícola deve ser dividida em duas partes iguais com diferentes formas, sendo as culturas colocadas alternadamente. Para culturas lenhosas, a cultura herbácea é colocada em filas entre as linhas de árvores. No caso das culturas hortícolas, é comum usar uma espécie mais frequentemente, muitas vezes como sebes perimetrais ao redor dos limites da propriedade.

Outra abordagem, popular em pequenas hortas orgânicas ou na produção de gramíneas, é uma mistura aleatória de espécies na mesma área. Esta abordagem pode potenciar a interação entre espécies em termos de atividades alelopáticas,

suporte nutricional, fixação de azoto e muito mais. Também pode ser utilizada em plantações destinadas a produzir forragem de qualidade para o gado.

A seleção das espécies dependerá do interesse do agricultor quanto à viabilidade comercial, rentabilidade ou outros benefícios ou efeitos desejados.

Em termos de manutenção, nada de significativo se destaca para além da necessidade de uma gestão eficaz das culturas associadas, o que é compreensivelmente mais complexo do que gerir uma monocultura.

## POTENCIAL DE MITIGAÇÃO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS:

A associação de culturas pode não ser conhecida pelos seus benefícios ambientais, mas oferece algumas vantagens no que diz respeito às alterações climáticas. Por exemplo, como mencionado anteriormente, a utilização da associação de culturas pode ajudar a reduzir a ocorrência de pragas-chave, o que pode levar a um menor uso de pesticidas. Esta redução pode diminuir custos e o uso de combustível devido ao menor número de intervenções necessárias.

Dependendo dos tipos de plantas cultivadas, certas espécies herbáceas podem ajudar a melhorar a fertilidade do solo e aumentar a capacidade de armazenamento de CO<sub>2</sub>. Além disso, o emparelhamento de uma cultura com uma espécie que protege o solo constitui uma opção prática. Nesta situação, poderá haver uma diminuição da erosão do solo, levando a uma fertilidade melhorada, menor necessidade de fertilizantes devido à diminuição da perda de nutrientes e aumento do armazenamento orgânico.

## ARTICULAÇÃO COM A POLÍTICA AGRÍCOLA COMUM:

Embora a associação de culturas seja uma prática intrigante que se alinha bem com várias abordagens de produção e esteja a ser cada vez mais adotada, medidas de apoio agroambiental ainda não foram consideradas para promover esta técnica, ao contrário da rotação de culturas. No entanto, foi incorporada nas boas práticas agrícolas e ambientais das Política Agrícola Comum (PAC). Relativamente à diversificação de culturas encontradas nos requisitos de ecologização, estas estão agora incluídas na nova PAC dentro das Boas Condições Agrícolas e Ambientais (BCAA) da Condicionalidade Reforçada. Esta inclusão implica que a associação de culturas pode ser uma possível alternativa para cumprir os requisitos de pagamentos diretos da PAC.

## Culturas de Cobertura

**NOME DA TÉCNICA:** Culturas de Cobertura

**OUTROS NOMES:** Cobertura Viva ou Verde, Cobertura de Vegetação, Adubos Verdes, Coberturas Espontâneas ou Naturais

**TIPO:** Cobertura Vegetal

### DESCRIÇÃO:

Como em outras técnicas descritas, a presente secção integra técnicas que são um pouco diferentes no seu foco ou objetivo, mas cujo resultado final, de um ponto de vista dos efeitos globais, é muito semelhante. As coberturas vegetais consistem no estabelecimento de uma presença permanente de uma ou mais espécies herbáceas, anuais ou perenes, semeadas pelo agricultor ou por espécies locais que ocorrem naturalmente. Quando não há lavoura ou uso de herbicidas em culturas lenhosas, estas coberturas envolvem parte ou toda a superfície da cultura. O seu crescimento é tipicamente controlado através de corte ou pastoreio de gado.

Atualmente, estas coberturas são muito valorizadas pela sua contribuição para a gestão integrada de pragas. Oferecem benefícios como a preservação de predadores naturais de pragas que danificam as culturas, incluindo afídeos, ácaros, moscas-brancas, entre outros. Contudo, a sua principal vantagem reside na proteção do solo contra a erosão causada pela água ou pelo vento. No sudeste de Espanha, as coberturas vegetais são cada vez mais utilizadas em olivais, nas plantações de citrinos, nos pomares de frutos de caroço e de frutos de polpa e, ocasionalmente, nas vinhas. A sua utilização é um componente crítico das operações de agricultura biológica.



Em muitos casos, estas coberturas criam uma extensa camada verde sobre a terra, geralmente plantada nos espaços entre as linhas de árvores, mantendo-se um espaço livre ao redor da base dos troncos das árvores. Ocasionalmente, são plantadas em volta da base da árvore, deixando o meio da linha livre para lavoura. No entanto, nalgumas regiões, a cobertura estende-se por toda a superfície da cultura, parecendo um prado. Esta situação é ainda visível em várias partes da Europa, como nas plantações de sequeiro usadas para pastagem e nos conhecidos bosques de azinheira. Também se observa em amendoeais, olivais ou alfarrobeiras e algumas espécies de árvores de fruto no centro da Europa. As tradicionais áreas de planície irrigada no sul e sudeste da Espanha ainda apresentam pequenos pomares de citrinos com coberturas permanentes, compostas predominantemente por ervas como a azeda (*Oxalis* sp.).

A prática comum muitas vezes envolve a sementeira de uma ou mais espécies selecionadas para um benefício específico, como a fixação de azoto atmosférico (no caso das leguminosas), resultando no que é conhecido como adubos verdes. A Política Agrícola Comum (PAC) promove fortemente estas práticas, e a sua importância na conservação de insetos benéficos para combate a pragas está em crescimento. Há também uma tendência crescente no uso de coberturas de ervas locais e flores espontâneas, que se estabelecem gradualmente na plantação através de uma ceifa seletivos. Deve-se considerar a precipitação na área, pois a quantidade e distribuição da chuva podem ser um fator limitante para muitas espécies de gramíneas, sejam semeadas ou naturais. Em condições mediterrâneas, é aconselhável alguma irrigação para apoiar o crescimento inicial ou para fornecer alívio durante secas na primavera e no verão, embora não seja o ideal.

Até agora, discutimos principalmente as coberturas vegetais em culturas lenhosas, que são o foco principal. No entanto, também podem ser aplicadas

às culturas herbáceas, nomeadamente os produtos hortícolas. A introdução de espécies melhoradoras como as leguminosas (adubo verde) ou os cereais é cada vez mais comum dentro das rotações anuais de culturas. A principal diferença em relação às espécies lenhosas é que estas coberturas tendem a ser anuais em vez de permanentes para se alinharem aos ciclos das culturas. Em determinadas situações, como excesso de azoto no solo ou a presença de um agente patógeno, pode ser benéfico estabelecer uma cobertura que mitigue o problema, permitindo o crescimento de espécies comercialmente valiosas. Independentemente disso, tanto em culturas lenhosas quanto nas herbáceas, o objetivo final é garantir que o solo esteja efetivamente protegido por uma cobertura herbácea, minimizando períodos de solo parcialmente ou totalmente a descoberto e aproveitando os vários outros benefícios que estas coberturas oferecem.



**Figura 21:** Culturas de cobertura utilizadas numa vinha para controlo de pragas.  
Fonte: Jacqueline Macou (2016).

## IMPACTO NA CONSERVAÇÃO DO SOLO E BIODIVERSIDADE:

A implementação de culturas de cobertura produz efeitos semelhantes aos proporcionados pelas faixas de plantio, mas com maior intensidade, devido à maior área de cobertura. Os benefícios principais incluem melhorias significativas na capacidade de retenção de água e nutrientes, especificamente de Azoto (N) e Fósforo (P). Simultaneamente, reduzem a dependência em produtos fitofarmacêuticos, diminuindo potenciais perdas ambientais. Adicionalmente, promovem a estratificação do escoamento superficial, reduzindo substancialmente a perda de solo e a formação de linhas de água.

A fertilidade do solo, particularmente em termos de teor de matéria orgânica, de presença de microrganismos e de biodiversidade geral, regista um aumento considerável. As coberturas baseadas em espécies locais que crescem espontaneamente produzem uma biodiversidade muito maior. Embora algumas espécies intencionalmente semeadas possam oferecer benefícios específicos, como atuar como adubo verde, com impacto na cultura ou promovendo insetos benéficos (polinizadores ou inimigos naturais), observa-se geralmente que ambos os tipos de cobertura aumentam significativamente o número de inimigos naturais (predadores e parasitoides) numa cobertura vegetal madura. Isso resulta numa economia notável de inseticidas específicos normalmente necessários para o controlo de pragas em plantações convencionais.

No contexto das políticas, além do papel já mencionado do uso sustentável de produtos fitofarmacêuticos na gestão integrada de pragas, os códigos de boas práticas agrícolas estabelecidos para o controlo da poluição difusa de nitratos de origem agrícola frequentemente recomendam ou exigem esta prática, a partir de uma inclinação específica do terreno de culturas lenhosas.

Por fim, tem-se observado na prática que as coberturas vegetais diminuem significativamente a probabilidade de inundações no terreno, graças ao aumento da porosidade do solo e à melhoria da sua estrutura. Isto traz benefícios indiretos ao agricultor, possibilitando a travessia do campo após chuvas e reduzindo a incidência de doenças fúngicas.

## CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO RECOMENDADAS:

Como mencionado anteriormente, as coberturas vegetais são primariamente aplicadas em culturas lenhosas. No entanto, culturas herbáceas (particularmente hortícolas) são utilizadas como adubo verde e outras espécies herbáceas benéficas, as quais também podem ser incluídas nesta categoria.

Normalmente, estas coberturas podem ser implementadas em qualquer tipo de solo ou declive, sendo os principais fatores limitantes a precipitação mínima necessária para o crescimento bem-sucedido das espécies herbáceas escolhidas e o espaço disponível entre as árvores para o seu estabelecimento e gestão subsequente. No entanto, a qualidade do solo e as condições climáticas locais podem influenciar significativamente o desenvolvimento de certas espécies de coberturas plantadas devido aos seus requisitos específicos. Assim, podem não ser recomendadas em certas circunstâncias, como no caso de espécies que necessitam de uma determinada gama de temperaturas ou aquelas que são afetadas negativamente por solos calcários.

Estas coberturas adaptam-se facilmente a desenhos pré-estabelecidos em plantações maduras, uma vantagem ampliada se a plantação tiver sido inicialmente projetada tendo em conta as coberturas vegetais, quer alinhadas com a inclinação do terreno quer em sentido contrário. Esta característica torna esta técnica altamente adequada e versátil em comparação com outras técnicas, que podem apresentar mais limitações neste aspeto.

## RECURSOS NECESSÁRIOS:

São necessários equipamentos específicos para implementar estas coberturas vegetais. Primeiro, são necessárias uma ou duas máquinas para preparar o terreno para a sementeira. Uma semeadora e um rolo também são necessários para achatar a superfície, assegurando um bom contacto entre as sementes e as partículas do solo. Opcionalmente, pode-se querer aplicar uma emenda orgânica para enriquecer o solo. Além disso, é necessária uma quantidade substancial de sementes das espécies escolhidas para o plantio.

Por último, para manutenção, seria prudente ter um cortador de relva, triturador ou capinador. Neste sentido, existem agora cortadores de precisão equipados com braços articulados e sensores, que facilitam o corte entre os troncos das árvores sem causar danos às mesmas.

## CONCEÇÃO, EXECUÇÃO E GESTÃO:

Um aspeto importante a decidir é a área total de cobertura em relação à cultura. Por exemplo, em muitos pomares de árvores de fruto ou vinhas, as culturas de cobertura ocupam frequentemente toda a faixa entre as filas de árvores, permanecendo apenas uma pequena área perto do tronco, entre 20-100 cm, livre de cobertura. Esta área livre de cobertura é tipicamente controlada mecanicamente através de corte ou quimicamente com herbicidas. Para outras culturas com ramos mais baixos e densos, como os citrinos ou os olivais, o espaço livre de cobertura pode ser ligeiramente maior, deixando exposta a área diretamente sob a copa das árvores. Em plantações mais antigas, como as planícies, é comum encontrar culturas de cobertura completas, chegando até aos troncos das árvores.

Como já foi referido, os sistemas agrícolas tradicionais em Espanha e Itália, especialmente em culturas lenhosas de sequeiro, utilizam frequentemente a

agropecuária. Aqui, a cobertura vegetal é tipicamente espontânea, permitindo que o seu crescimento crie superfícies adequadas para o pastoreio de gado com uma carga de gado reduzida e adequada ao clima local. Estas coberturas podem ser melhoradas pela sementeira de espécies que proporcionem benefícios para o gado.

Embora a concorrência por água e nutrientes entre as culturas de cobertura e a cultura principal geralmente seja mínima devido à natureza das culturas arbóreas, a decisão de implementar culturas de cobertura deve basear-se em aspetos adicionais de gestão. Estes podem incluir a irrigação localizada nas plantações, a presença de planaltos em pomares de citrinos e estruturas de suporte nas vinhas, entre outros.

A próxima consideração é o tipo de cultura de cobertura a estabelecer, tendo em conta o clima local, as condições do solo e os benefícios específicos que se pretendem com esta técnica. A relação custo-benefício de cada tipo de cultura de cobertura também deve ser considerada, comparando o custo das culturas de cobertura semeadas versus as espontâneas.

Apesar da escassez de informação extensiva sobre este tema, nos últimos anos têm-se assistido a numerosos estudos e ensaios para testar o comportamento e os efeitos de espécies específicas e a sua gestão dependendo do tipo de cultura. Em Espanha, a informação é particularmente abundante para oliveiras, embora o interesse esteja a crescer para outras espécies significativas, como citrinos, vinhas ou amendoeiras. Entre as espécies de culturas de cobertura semeadas, encontramos leguminosas como ervilhaca e trevo forrageiro, gramíneas como aveia ou cevada, e várias espécies de relva como *Festuca sp.*, *Hordeum sp.*, *Bromus sp.*, bem como espécies da família das crucíferas. Muitos estudos investigaram associações de espécies para combinar ou adicionar benefícios, como a combinação cereais/leguminosas para melhorar a relação Carbono/Azoto quando os restos são humificados.

Entre estes benefícios, é bem conhecida a capacidade das leguminosas de fixar azoto atmosférico, enriquecendo significativamente o solo. Isso ajuda a reduzir a necessidade de fertilização mineral, resultando numa redução de custos. Também foram observados casos de efeitos alelopáticos (atração ou repulsão de insetos) e efeitos antagônicos (como centeio e nematoides do solo). Noutros casos, as melhorias físicas no solo são evidentes; por exemplo, as gramíneas melhoram tipicamente a permeabilidade do solo devido aos seus sistemas radiculares.

Ademais, com a diminuição da disponibilidade de produtos fitossanitários para utilização em culturas lenhosas para combater pragas, alguma equipas de investigação em proteção de culturas têm procurado compreender as implicações biológicas da plantação de culturas de cobertura com espécies herbáceas específicas. O objetivo é identificar quais os inimigos naturais que podem ser atraídos por estas coberturas para potencializar o controlo natural de pragas, uma prática conhecida como controlo biológico de conservação. Embora ainda em fase inicial, já existem casos que adicionaram valor a esta abordagem de controlo biológico nas culturas, como a utilização de *Festuca sp.* em pomares de citrinos.

Atualmente, produtos à base de sementes de diversas espécies estão comercialmente disponíveis para utilização como culturas de cobertura em culturas específicas. No entanto, pode ser benéfico para os agricultores criarem a sua própria mistura de espécies baseada em necessidades e interesses específicos.

A sementeira deve ocorrer alguns dias antes da época das chuvas, com a devida preparação do solo para assegurar uma boa germinação das sementes. Em Espanha, a sementeira ocorre geralmente na primavera ou no outono. Se a precipitação for insuficiente após a sementeira, poderá ser necessário um tanque ou cisterna de apoio à irrigação das culturas. A dose de sementeira (número de sementes por área) pode variar com base na espécie herbácea, mas geralmente

recomenda-se uma sementeira densa devido ao alto potencial de não germinação e à necessidade de maximizar o controlo da erosão em encostas íngremes.

Quando o objetivo é estabelecer uma cobertura espontânea de vegetação natural, é comum iniciar o processo ao mesmo tempo que o plantio da cultura principal, quando as árvores são jovens e há bastante espaço vertical e luz disponível. O solo recém-lavrado também permite que as plantas germinem mais facilmente. Uma abordagem alternativa pode ser semear inicialmente uma planta ou mistura que possa proteger o solo, mas que com o tempo, permita a colonização natural por gramíneas.

A fase de manutenção pode exigir ressemeiar periodicamente se as espécies tiverem dificuldade em propagar-se ou se a cultura de cobertura envelhecer (renovação). O crescimento das culturas de cobertura é geralmente gerido para evitar que cresçam demasiado ou compitam por água. Assim, são frequentemente cortadas ou trituradas, e de vez em quando servem de pastagem para o gado. A frequência destas intervenções dependerá da taxa de crescimento das espécies de plantas e das condições climáticas locais. Muitos investigadores recomendam que, em condições mediterrânicas, as culturas de cobertura sejam cortadas durante o seu período de floração (entre o final de março e abril). No entanto, em regiões como Múrcia, a ceifa pode precisar ocorrer mais cedo devido à menor precipitação. Observações em plantações com coberturas espontâneas revelam que as espécies existentes são pequenas e requerem pouca água, pelo que a sua gestão raramente é necessária.

Com o tempo, nessas coberturas espontâneas, ocorre um processo de seleção de espécies após trabalhos de corte ou roça e cultivo. Este processo altera a flora inicial de espécies anuais, oportunistas, neutrofilicos e invasoras (no caso das crucíferas), para espécies mais perenes com crescimento mais lento e rasteiro (como gramíneas, leguminosas, etc.).



Uma vez que a cultura de cobertura esteja bem estabelecida, o cultivo superficial pode ser realizado a cada um ou dois anos. Este processo remove uma pequena porção da camada superficial da cultura de cobertura, auxiliando na auto sementeira, melhorando a aeração e facilitando a incorporação de restos orgânicos no solo. Anualmente, este trabalho também pode ser feito de forma alternada em cada faixa.

### **CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO RECOMENDADAS:**

A adoção de técnicas de cultivo de cobertura em culturas lenhosas diminui significativamente a necessidade de lavoura frequente. Esta prática reduz a ceifa aproximadamente uma ou duas vezes por ano, complementada por cultivo superficial e vertical ocasional. Este último método é usado para auxiliar na incorporação eficaz da matéria orgânica produzida pelas culturas de cobertura e para amolecer a superfície do solo, favorecendo os processos naturais de auto sementeira. Esta prática reduz grandemente o consumo de combustível nas operações agrícolas, contribuindo assim para a conservação ambiental.

A implementação de culturas de cobertura conduz a uma diminuição na perda de solo e nutrientes. Isto tem um efeito duplamente positivo: melhora o rendimento das culturas e reduz a necessidade de fertilizantes artificiais. Além disso, devido à diminuição da mineralização e ao aumento da biomassa incorporada no solo pelas culturas de cobertura, verifica-se um aumento substancial na acumulação de matéria orgânica. Este aumento na matéria orgânica, por sua vez, tem um efeito muito positivo na capacidade de armazenamento de dióxido de carbono do solo, contribuindo para os esforços de mitigação das mudanças climáticas.

### **ARTICULAÇÃO COM A POLÍTICA AGRÍCOLA COMUM:**

Durante muitos anos, a PAC considerou a implementação de culturas de cobertura como uma prática obrigatória em áreas com declives acentuados. Essa exigência está enquadrada nos pré-requisitos gerais das “Boas Condições Agrícolas e Ambientais (BCAA)” e foi incorporada no programa mais recente sob a cláusula de Condicionalidade, tornando-se um requisito para a maioria das formas de auxílio direto. Mais recentemente, esta prática tem sido especialmente exigida nas medidas obrigatórias dentro do pagamento verde, “*greening*”, relativas à cobertura mínima do solo e à designação de áreas de interesse ecológico. De facto, a PAC atualizada para os anos de 2023-2027 inclui uma cláusula de Condicionalidade Reforçada.



# SEQUESTRO DE CARBONO EM SOLOS POBRES E DEGRADADOS

O sequestro de carbono no solo é essencial no combate às alterações climáticas e garantir uma gestão sustentável do solo. O sequestro de carbono refere-se ao processo de assimilação de dióxido de carbono atmosférico através da produção primária e seu armazenamento na biomassa e no solo. Neste capítulo, vamos explorar a relevância do sequestro de carbono em solos pobres e degradados, particularmente nas regiões Mediterrânicas. Iremos aprofundar a complexidade envolvida na implementação de práticas de sequestro de carbono, nos diferentes caminhos para o sequestro, e nos métodos de medição utilizados para avaliar as taxas de sequestro de carbono no solo.

O sequestro de carbono em solos pobres e degradados é um processo multifacetado influenciado por uma gama de fatores. Estes incluem as condições edafoclimáticas passadas, práticas históricas de uso do solo, decisões políticas, estruturas de propriedade e sistemas de posse da terra. Além disso, o estado atual do território e outras considerações futuras contribuem ainda mais para a complexidade da implementação de práticas de sequestro de carbono. As regiões Mediterrânicas oferecem um contexto único para a análise de estratégias de sequestro de carbono devido às suas vulnerabilidades naturais e aos impactos amplificados pelas mudanças climáticas.

A implementação de práticas de sequestro de carbono nestas regiões é um processo multifacetado influenciado por vários fatores. As condições edafoclimáticas passadas, práticas históricas de uso do solo, decisões políticas, sistemas de posse de terra e o estado atual do território contribuem todos para a sua complexidade. Além disso, considerações futuras precisam ser levadas em conta para garantir eficácia a longo prazo.

Nas regiões Mediterrânicas, o sequestro de carbono depende principalmente de dois caminhos: práticas agroflorestais e gestão do uso do solo. As práticas

agroflorestais envolvem intervenções diretas no solo, como rotações de culturas, reflorestamento e uso de pastagens. Por outro lado, a gestão do uso do solo envolve mudanças mais amplas na paisagem que influenciam o balanço de carbono, como a criação de áreas protegidas ou modificação das práticas agrícolas.

A avaliação da taxa de sequestro de carbono no solo é realizada através de dois métodos distintos. Um quantifica a quantidade de carbono armazenado por hectare por ano (tC/ha/ano), fornecendo uma medida anual direta. O outro utiliza o “*IPCC Change Factor*” (IPCCf), uma ferramenta desenvolvida pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, que oferece uma medida relativa da alteração do teor de carbono do solo ao longo do tempo.

Aplicar estas estratégias requer contabilizar os custos secundários de carbono, garantindo que o impacto líquido no clima seja positivo. As práticas escolhidas podem ter emissões indiretas, que podem potencialmente superar os benefícios do sequestro de carbono. Uma avaliação abrangente deve considerar tanto o armazenamento direto de carbono na biomassa e no solo quanto as emissões indiretas associadas às práticas escolhidas.

As práticas de gestão sustentável do solo, que incluem a rotação de culturas, o uso de culturas de cobertura, a redução do revolvimento do solo e a aplicação de biochar, oferecem um conjunto de estratégias que podem melhorar a saúde do solo, promover a biodiversidade, aumentar o rendimento agrícola e sequestrar carbono. Ações como o reflorestamento, a adoção de culturas perenes e sistemas agroflorestais aumentam ainda mais o potencial para o sequestro de carbono. O planeamento e a gestão do uso do solo, alinhados aos princípios da agricultura regenerativa, promovem paisagens resilientes com potencial de sequestro de carbono a longo prazo.

O sequestro de carbono pode ser essencial para a gestão sustentável do solo, especialmente em áreas como o Mediterrâneo, onde as vulnerabilidades às mudanças climáticas são amplificadas. Ao compreender suas complexidades, explorar diferentes caminhos de sequestro e empregar métodos de medição apropriados, podemos incorporar eficazmente o sequestro de carbono nos sistemas agrícolas. Integrando práticas de gestão sustentável do solo, podemos melhorar a saúde do solo, aumentar a produtividade agrícola e contribuir para a mitigação das mudanças climáticas.”

## Práticas de Gestão e Sequestro de Carbono

Várias práticas de gestão do solo na agricultura podem beneficiar tanto a produção agrícola quanto o meio ambiente. Estas práticas vão além dos métodos convencionais e podem potencialmente aumentar o teor de carbono no solo. É importante reconhecer que o que é considerado “convencional” pode variar com base em fatores como clima, tipo de solo, conhecimento tradicional, estrutura de propriedade e condições socioeconómicas. A implementação de múltiplas práticas amigas do carbono frequentemente leva a resultados ainda mais positivos (Aguilera et al., 2013).

### Existem duas vias para aumentar o Sequestro de Carbono:

- **Práticas que aumentam a produção de biomassa:** Estas práticas introduzem mais carbono no solo ao promover o crescimento da biomassa. Exemplos incluem diferentes tipos de lavoura, cultivo de superfície, gestão de resíduos e o uso de fertilizantes naturais ou artificiais.
- **Práticas que reduzem a erosão do solo:** Ao implementar práticas que diminuem a erosão do solo, podemos minimizar a perda de carbono já presente no solo. Culturas de cobertura, lavoura de conservação e medidas de controlo de erosão são alguns exemplos de práticas que podem ajudar a reter carbono no solo.

## RESUMO DAS TAXAS DE SEQUESTRO DE CARBONO:

Uma meta-análise abrangente realizada em 2013 sintetizou informação de 174 conjuntos de dados e 79 publicações para avaliar o potencial de sequestro de carbono de várias práticas de gestão do solo em sistemas agrícolas mediterrâneos. A análise categorizou os resultados em dois grupos: descobertas relacionadas com o trabalho real nos campos agrícolas e resultados do trabalho de campo experimental realizado em parcelas. Adicionalmente, esta diferenciou tratamentos “orgânicos” (incluindo fertilização orgânica e métodos de cultivo diferentes do plantio direto com herbicidas) e tratamentos “convencionais” (sem fertilização ou apenas restolho, e lavoura tradicional) (Aguilera et al., 2013).

Aqui está um resumo das taxas de sequestro de carbono para diversas práticas de manejo:

- **Sem lavoura:** 0,44 tC/ha/ano
- **Com lavoura reduzida:** 0,32 tC/ha/ano
- **Culturas de Cobertura:** 0,27 tC/ha/ano
- **Compostagem:** 1,32 tC/ha/ano
- **Sideração:** 0,97 tC/ha/ano
- **Estrume + Culturas de Cobertura:** 0,97 tC/ha/ano
- **Combinação de práticas:** 0,52 tC/ha/ano
- **Agricultura orgânica em comparação com Agricultura convencional:** 0,97 tC/ha/ano

Para ilustrar o impacto potencial, vamos considerar o plantio reduzido, por exemplo, numa área de 100 hectares. Com uma taxa de sequestro de carbono de



0,32 tC/ha/ano, essa prática resultaria no sequestro de 32 toneladas de carbono (tC) anualmente em 100 hectares. Para converter esse valor em CO<sub>2</sub>, multiplica-se o tC por 3,7 (uma vez que o peso molecular do CO<sub>2</sub> é 3,7 vezes o do carbono), resultando em 118,4 toneladas de CO<sub>2</sub> sequestradas a cada ano.

É fundamental reconhecer que as taxas de sequestro de carbono podem variar consideravelmente com base em condições locais. Fatores como tipo de solo, topografia, clima (incluindo variações de temperatura e precipitação), seleção de culturas, rotação e técnicas de fertilização podem influenciar as taxas reais de sequestro de carbono. Portanto, é irrealista esperar um valor universal ou até mesmo um valor “mediterrâneo” para a capacidade de sequestro de carbono de cada prática.

As taxas de sequestro de carbono fornecidas servem como ponto de partida para os agricultores compreenderem os potenciais benefícios de diferentes práticas de manejo do solo. No entanto, esses números ressaltam a necessidade de mais pesquisas e ajustes personalizados às condições locais específicas. Ao realizar estudos específicos para cada local e fazer adaptações, os agricultores podem alcançar balanços de carbono mais altos e capitalizar os benefícios do sequestro de carbono dentro do contexto mais amplo das estratégias de mitigação das mudanças climáticas.

Os exemplos a seguir ilustram elementos de gestão do solo e da terra que os agricultores e os gestores de propriedades podem adotar para aumentar o sequestro de carbono em sistemas agrícolas. Essas práticas são baseadas na literatura científica e fornecem *insights* sobre ganhos potenciais de carbono no solo. Ao realçar a importância destas práticas, destacamos o seu papel na mitigação das alterações climáticas em solos pobres e degradados nos climas mediterrânicos.

## Mobilização do Solo

A lavoura ou mobilização do solo é um fator significativo que contribui para a perda de solo e a consequente perda de carbono do solo. Estudos demonstraram que a mobilização do solo pode resultar na erosão do carbono do solo através de processos mecânicos e bioquímicos. Fatores mecânicos, como a perturbação da matéria orgânica particulada, e fatores bioquímicos, como o aumento das taxas de oxidação devido à exposição ao ar e à luz solar, contribuem para a perda de carbono do solo (Roxo, 1994; Van Muysen et al., 1999; FAO, 2004; Bot & Benites, 2005).

Para mitigar a perda de carbono no solo e melhorar o sequestro de carbono, diferentes práticas de mobilização do solo têm sido estudadas em condições semiáridas e sistemas agrícolas do Mediterrâneo. Estas práticas incluem lavoura reduzida (LR), lavoura mínima (LM), lavoura zero (LZ), lavoura subsuperficial (LS), lavoura rasa (LRa) e lavoura de inversão completa (LIC). É importante notar que a definição precisa de cada prática varia devido a nuances locais e considera fatores como tipo de cultivo, estrutura da propriedade e características da terra.

Estudos demonstraram que após 20 anos, uma cronossequência em condições Mediterrânicas revelou uma diferença de 5,7 toneladas de carbono por hectare (t C/ha) entre a lavoura zero e a lavoura convencional, correspondendo a uma taxa anual de sequestração de 0,285 t C/ha/ano (Álvaro-Fuentes et al., 2014). Os benefícios da lavoura zero tornam-se mais evidentes ao longo do tempo. Inicialmente, verifica-se um aumento significativo de carbono na camada superficial (0-5 cm), enquanto podem ocorrer algumas perdas nas camadas mais profundas do solo (até 30 cm). No entanto, esta tendência inverte-se após

aproximadamente cinco anos, resultando num efeito compensatório (Álvaro-Fuentes et al., 2014).

Uma revisão de 66 experiências de longo prazo demonstrou uma taxa média de sequestro de carbono de 0,3 t C/ha/ano para a lavoura nula, em comparação com 0,17 t C/ha/ano na lavoura convencional, indicando uma diferença de 0,13 t C/ha/ano. O estudo também destacou que os benefícios da lavoura nula são maiores quando combinados com rotações de culturas diversificadas. Além disso, valores mais baixos foram observados sob lavoura mínima quando comparados com a lavoura convencional, sugerindo que a interpretação dos resultados pode ser influenciada pelas nuances locais do conceito de “lavoura mínima” (Francaviglia, Di Bene, et al., 2017).

Outro estudo de longo prazo comparou a lavoura nula com a lavoura de superfície e a lavoura de inversão total do solo e constatou que as taxas de sequestro de carbono foram inicialmente intensas durante os primeiros quatro anos, mas começaram a estabilizar no ano 24 e a diminuir após o ano 28. No entanto, esta estagnação e diminuição do sequestro de carbono foram associadas a um período particularmente chuvoso, destacando a vulnerabilidade destas práticas a fatores externos como o clima e a duração da sua aplicação (Dimassi et al., 2014). Portanto, ao implementar práticas de gestão para o sequestro de carbono, é crucial considerar os efeitos de longo prazo na captura e armazenamento de carbono e a sua suscetibilidade a fatores exógenos como variabilidade climática e imprevisibilidade.

Estes achados sublinham a importância de adotar práticas de mobilização do solo que reduzam a perturbação do solo e promovam o sequestro de carbono. Implementar o plantio direto (ou lavoura nula) e outras práticas de lavoura mínima ou reduzida pode contribuir para o sequestro de carbono a longo prazo nos sistemas agrícolas. No entanto, é essencial considerar o contexto local, incluindo as características do solo, as rotações de culturas e as condições climáticas, para otimizar a eficácia dessas práticas para o sequestro de carbono.

## Gestão de Resíduos

Práticas eficazes de gestão de resíduos, particularmente a reutilização e reciclagem de resíduos agrícolas, desempenham um papel crucial na sequestração de carbono dentro dos sistemas agrícolas. A abordagem para a gestão de resíduos está intimamente ligada às práticas de mobilização do solo e pode influenciar significativamente a taxa de decomposição, integração na matéria orgânica do solo e subsequente sequestração de carbono.

Tradicionalmente, resíduos agrícolas, como os provenientes de olivais, têm sido queimados, resultando na liberação imediata de carbono para a atmosfera. Contudo, uma abordagem alternativa proposta por Nieto et al. (2011) envolve espalhar esses resíduos diretamente sobre o solo. Esta prática demonstrou aumentar a capacidade do solo de sequestrar carbono, levando a um aumento do teor de carbono do solo de aproximadamente 0,5 a 0,6 toneladas de carbono por hectare por ano (t C/ha/ano).

O impacto positivo da gestão de resíduos no sequestro de carbono pode ser ainda mais ampliado quando combinado com práticas que promovem a manutenção de vegetação espontânea. Estudos realizados por Ruibérriz et al. (2012) sugerem que o potencial para o sequestro de carbono pode aumentar para até 1,36 t C/ha/ano nesses cenários. A presença de vegetação espontânea contribui com biomassa adicional, enriquecendo o conteúdo de matéria orgânica do solo e melhorando a sua capacidade de sequestro de carbono. Isso destaca a importância de preservar e potencializar a biodiversidade em agroecossistemas como meio de gestão eficaz do carbono.

Outro estudo realizado num amendoal, como relatado por Garcia-Franco et al. (2015), examinou duas práticas: fertilização verde usando ervilhaca e aveia e plantio direto. Os resultados indicaram que a fertilização verde levou a um aumento de 14% no conteúdo de carbono do solo na superfície em comparação com o período inicial. Os resíduos de ervilhaca e aveia desempenharam um papel significativo na formação de novos agregados do solo, melhorando assim a estabilização da matéria orgânica dentro do solo.

Estabilizar a matéria orgânica é fundamental para a dinâmica do carbono no solo, pois ajuda a reter o carbono no solo, reduzindo a sua vulnerabilidade à decomposição e prevenindo a libertação sob a forma de CO<sub>2</sub>. Ao introduzir matéria orgânica fresca através de práticas como a fertilização verde, a estrutura do solo e a capacidade de reter carbono são melhoradas, contribuindo significativamente para os esforços de sequestro de carbono.

## Culturas de Cobertura

Nos sistemas agrícolas mediterrânicos, os solos pobres e degradados apresentam desafios significativos para a produção sustentável. Contudo, o uso de culturas de cobertura demonstrou trazer benefícios substanciais para estes solos, promovendo a saúde do solo e o sequestro de carbono.

Um estudo conduzido por Albaladejo et al. (1998) destacou o papel crucial das culturas de cobertura na manutenção do teor de carbono e estrutura do solo. A pesquisa descobriu que, quatro anos e meio após a remoção das culturas de cobertura de uma parcela experimental, o conteúdo de carbono do solo diminuiu em 35%. Além disso, a estabilidade dos agregados do solo diminuiu 31%, levando a um aumento de 8% na densidade bruta em comparação com as parcelas de controlo. Estes resultados sublinham a importância das culturas de cobertura na preservação da estrutura do solo e no sequestro de carbono.

Marquez-Garcia et al. (2013) investigaram os efeitos das culturas de cobertura na erosão e no sequestro de carbono em olivais de sequeiro. Em comparação com a prática convencional de usar glifosato para a remoção de ervas, as culturas de cobertura reduziram a erosão do solo em 80,5% e o transporte de carbono do solo em 67,7%. As culturas de cobertura também sequestraram 3,35 toneladas de carbono por hectare por ano (t C/ha/ano), demonstrando a sua eficácia e rentabilidade como método de sequestro de carbono. No entanto, a taxa de sequestro de carbono pareceu saturar ou diminuir ao longo do tempo.

Os benefícios das culturas de cobertura estendem-se para além dos olivais de sequeiro até aos sistemas irrigados. Dados preliminares de um estudo em curso por Ballesteros et al. (2020) sugerem que as culturas de cobertura em olivais irrigados podem potencialmente aumentar o conteúdo de carbono no

horizonte superficial do solo, levando a uma melhoria da eficiência do uso da água e compensando as perdas por evapotranspiração. Isto indica que as culturas de cobertura podem contribuir para a manutenção da saúde e produtividade do solo mesmo em sistemas agrícolas intensivos de regadio.

Uma meta-análise abrangente realizada por Poeplau & Don (2015), incorporando 139 amostras de 37 locais, principalmente em zonas temperadas, em experiências com duração máxima de 54 anos, relatou um aumento médio no conteúdo de carbono do solo de  $0,32 \pm 0,08$  toneladas de carbono por hectare por ano (t C/ha/ano). Quando estes dados foram modelados usando o modelo de ciclagem de carbono RothC, este previu uma acumulação de carbono de 16,5 toneladas de carbono por hectare (t C/ha) após 155 anos, em comparação com práticas convencionais, com uma média de cerca de 0,11 t C/ha/ano.

É importante salientar que as potenciais emissões de óxido nitroso ( $N_2O$ ) associadas ao uso de culturas de cobertura devem ser avaliadas caso a caso. O  $N_2O$  é potente gás de efeito de estufa, e as suas emissões são altamente influenciadas por fatores locais e culturais, o que torna difícil a generalização de dados a uma escala global. Deve-se ter cautela para minimizar as emissões de  $N_2O$  enquanto se maximizam os benefícios das culturas de cobertura para o sequestro de carbono.

## Fertilização Natural e Artificial

As práticas de fertilização natural e artificial são cruciais para a fertilidade do solo e o sequestro de carbono em sistemas agrícolas. O tipo de fertilização utilizado, seja orgânico ou inorgânico, pode influenciar significativamente o conteúdo de carbono do solo e o potencial global de fixação de carbono.

A fertilização orgânica, incluindo materiais como estrume, lodo e composto, demonstrou ter benefícios substanciais para a fixação de carbono no solo. Uma meta-análise global realizada por Maillard & Angers (2014) mostrou que a fertilização com estrume foi responsável por pelo menos 53% da variação no conteúdo de carbono do solo em comparação com a fertilização mineral ou a ausência de fertilização. Isto resultou num aumento de 12% na assimilação de carbono e um ganho de carbono no solo de  $1.26 \pm 0.14$  toneladas de carbono por hectare por ano (t C/ha/ano) nos primeiros 30cm do solo. Estes resultados realçam o potencial significativo da fertilização orgânica, particularmente com estrume, para aumentar o sequestro de carbono no solo.

A fertilização inorgânica, representada por fertilizantes minerais, também pode contribuir para o sequestro de carbono através do aumento da produção de biomassa. O pressuposto é que uma maior biomassa leva a mais matéria orgânica a ser devolvida ao solo, aumentando assim o conteúdo de carbono do solo. No entanto, é crucial considerar as emissões indiretas associadas à fertilização inorgânica, como as emissões de CO<sub>2</sub> durante a produção, transporte e aplicação, bem como potenciais emissões de N<sub>2</sub>O provenientes da desnitrificação. Estas emissões podem compensar os benefícios do sequestro de carbono se não forem cuidadosamente geridas (FAO, 2004).

Uma meta-análise realizada por Han et al. (2016) examinou a taxa de sequestro de carbono associada a diferentes tipos de fertilização química em comparação com um cenário base convencional. Os resultados indicaram taxas aumentadas de sequestro de carbono em várias categorias: um aumento de 10% na fertilização química simples, um aumento de 15% na fertilização química ajustada, um aumento de 19,5% na fertilização química com integração de palha, e um aumento substancial de 36,2% na fertilização química com a introdução de esterco. Isto sugere que a gestão cuidadosa e a intensificação das práticas de fertilização podem ser uma ferramenta poderosa para o sequestro de carbono em sistemas agrícolas.

Para maximizar os benefícios da fertilização para o sequestro de carbono, é essencial adotar uma abordagem integrada que considere tanto os fertilizantes orgânicos quanto os inorgânicos. Esta abordagem deve levar em conta os possíveis impactos ambientais e esforçar-se para minimizar as emissões indiretas associadas às práticas de fertilização. Ao gerir cuidadosamente e otimizar as técnicas de fertilização, os agricultores podem melhorar a fertilidade do solo, aumentar a produção de biomassa e contribuir para os esforços de sequestro de carbono em sistemas agrícolas, particularmente em solos pobres ou degradados.



## Gestão de Pousio

A gestão do solo em pousio é crucial para o sequestro de carbono nos sistemas agrícolas. O tipo de cobertura do solo durante o período de pousio influencia significativamente a capacidade do solo de sequestrar carbono e prevenir a erosão.

Pousio em solo nu, onde a terra é deixada não semeada e sem qualquer cobertura vegetal, oferece proteção limitada contra a erosão e oportunidades mínimas para o sequestro de carbono. Embora permita a restauração natural dos nutrientes do solo, não contribui de forma significativa para o armazenamento de carbono no solo.

Pousio em solo lavrado, onde a terra é arada durante o período de pousio, pode ajudar no controlo de ervas daninhas e pragas. Contudo, também pode acelerar a degradação e perda de matéria orgânica, diminuindo o armazenamento de carbono no solo.

Em contraste, terras em pousio com culturas de cobertura apresentam benefícios significativos para o sequestro de carbono e controlo da erosão. Culturas de cobertura, sejam elas espontâneas ou intencionalmente semeadas, contribuem para a produção primária através da fotossíntese. Ao contrário das culturas agrícolas regulares que são colhidas, as culturas de cobertura em terras em pousio são tipicamente deixadas no campo, permitindo a sua integração completa no solo. Esse processo aumenta significativamente o conteúdo de matéria orgânica do solo e realça a sua capacidade de sequestro de carbono.

Além disso, as culturas de cobertura proporcionam proteção mecânica contra a erosão. A presença das raízes das plantas estabiliza o solo, reduzindo o risco das partículas do solo serem arrastadas pela água ou levadas pelo vento. Isso é especialmente importante em regiões com chuvas intensas ou ventos fortes,

onde a erosão do solo pode ter efeitos prejudiciais sobre a fertilidade do mesmo e a capacidade de armazenamento de carbono.

O prolongamento do período de pousio, especialmente com a incorporação de culturas de cobertura, pode aumentar ainda mais o sequestro de carbono no solo. Um estudo de Freibauer et al. (2004) sugere que o aumento da duração do pousio das pastagens pode resultar num ganho médio de carbono no solo variando entre 0,1 e 0,5 toneladas de carbono por hectare por ano (t C/ha/ano). Isso sublinha a importância de uma gestão estratégica das terras em pousio para potencializar o sequestro de carbono em sistemas agrícolas.

Ao implementar práticas de gestão das propriedades em pousio que incorporam culturas de cobertura e prolongam a duração do pousio, os agricultores podem promover a saúde do solo, aumentar o sequestro de carbono e mitigar a erosão do solo, contribuindo para sistemas agrícolas mais sustentáveis e resilientes.

## Sistemas Integrados: Práticas de Agrofloresta, Pastoreio e Agro-silvopastoril

Sistemas integrados que combinam práticas de agrofloresta, pastoreio e agro-silvopastoril oferecem abordagens agrícolas sustentáveis com um potencial significativo para o sequestro de carbono e a provisão de múltiplos serviços de ecossistemas. Estas práticas integram árvores, culturas e gado na mesma área de terra, fomentando a resiliência e benefícios ambientais.

Práticas agroflorestais, como sistemas silvopastoris e silvoaráveis, podem sequestrar carbono através dos efeitos combinados de árvores e atividades agrícolas. Sistemas silvopastoris que integram árvores, pastagens e gado, registam taxas de sequestro de carbono que variam de 0,29 a 1,31 toneladas de carbono por hectare por ano (tC/ha/ano) (Tsonkova et al., 2012). Os sistemas silvoaráveis que combinam árvores e culturas, podem sequestrar carbono a taxas de 0,42 a 0,71 tC/ha/ano (Feliciano et al., 2018). Os fatores que influenciam o sequestro de carbono incluem a seleção de espécies de árvores, a densidade arbórea e as práticas de gestão como a poda e o desbaste.

As práticas de pastoreio e gestão de pastagens também desempenham um papel no sequestro de carbono. Sistemas de pastoreio bem geridos, incluindo o pastoreio rotacional, promovem a criação sustentável de gado, mantendo a produtividade dos pastos e a capacidade de sequestro de carbono. Estas práticas realçam a matéria orgânica do solo e a estrutura do solo, contribuindo

para o aumento do armazenamento de carbono.

Sistemas agro-silvopastoris que integram árvores, culturas e gado, fornecem benefícios combinados de sequestro de carbono na biomassa e no solo, juntamente com outros serviços de ecossistemas. As espécies de árvores específicas, a disposição e as práticas de gestão influenciam o potencial de sequestro de carbono.

Sistemas integrados como o sistema do Montado em Portugal e o sistema Dehesa em Espanha exemplificam a implementação bem-sucedida de práticas Agro-silvopastoris. Estes sistemas tradicionais incorporam espécies arbóreas como sobreiros e azinheiras ao lado de pastagens e gado. Fornecem recursos económicos como a cortiça e produtos cárneos de alta qualidade, enquanto contribuem para o sequestro de carbono, preservação da biodiversidade e conservação



**Figura 22.** Montado em Évora, Alentejo. Neste sistema, as árvores são exploradas pela sua cortiça e também fornecem alimento aos porcos. Os porcos, por sua vez, ajudam a fertilizar a terra, f

echando o ciclo. Fonte: David Germano (2020).

Para além do sequestro de carbono, os sistemas integrados oferecem benefícios adicionais como o aumento da fertilidade do solo, o aumento da biodiversidade, a melhoria do microclima, a diversificação dos rendimentos agrícolas e a melhoria da qualidade da água. Contribuem também para o bem-estar e produtividade dos animais, proporcionando benefícios económicos e sociais adicionais.

Para implementar com sucesso os sistemas integrados, é necessária uma gestão cuidadosa, considerando as interações entre os seus componentes. A seleção de espécies de árvores adequadas, as intensidades de pastoreio ideais e práticas de gestão eficazes são essenciais para a sustentabilidade e produtividade a longo prazo desses sistemas. No geral, os sistemas integrados oferecem uma abordagem holística à agricultura sustentável, promovendo o sequestro de carbono e a responsabilidade ambiental, enquanto apoiam os meios de subsistência dos

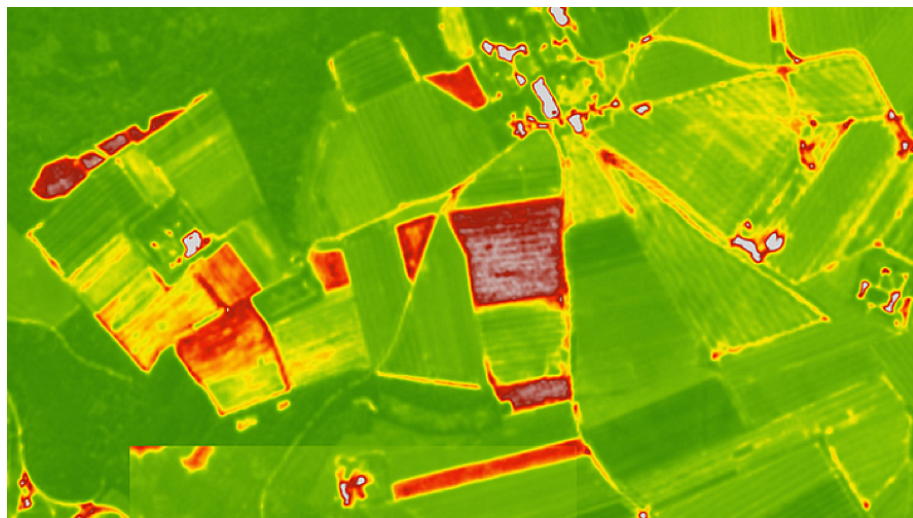
agricultores e das comunidades rurais.

## Ferramentas para Implementação e Monitorização

A implementação e a monitorização são fundamentais para garantir a adoção bem-sucedida e a eficácia das práticas de sequestro de carbono nos sistemas agrícolas. A implementação refere-se à aplicação e integração efetivas destas práticas na exploração agrícola ou na terra, enquanto a monitorização envolve a avaliação, medição e acompanhamento contínuos dos resultados e impactos dessas práticas. Ao implementar e monitorizar práticas de sequestro de carbono, agricultores e gestores de propriedades podem avaliar a eficácia dos seus esforços, identificar áreas para melhoria e tomar decisões informadas para otimizar o potencial de sequestro de carbono. Este processo permite a identificação de práticas bem-sucedidas e o desenvolvimento de estratégias para superar desafios, contribuindo assim para a sustentabilidade e resiliência a longo prazo dos sistemas agrícolas na mitigação das alterações climáticas. Fornece também dados e informações valiosas para a investigação, o desenvolvimento de políticas e a promoção de boas práticas, garantindo que os esforços para melhorar o sequestro de carbono na agricultura sejam direcionados e impactantes.

## DETEÇÃO REMOTA E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG):

A detecção remota é um método de obtenção de informações sobre a superfície terrestre sem estar fisicamente no local. Esta tecnologia revolucionou a forma como percebemos a superfície da Terra, incluindo áreas agrícolas, e é fundamental para observar e interpretar as mudanças.



**Figura 23.** Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) sobre uma paisagem agrícola. O NDVI é um índice amplamente utilizado que faz uso da diferença entre a resposta espectral das bandas de luz VERMELHA e Infravermelha próxima do espectro eletromagnético. Plantas saudáveis têm baixa refletância espectral na luz vermelha e mais alta no infravermelho próximo, o que permite medir a sua saúde com relativa facilidade. Fonte da imagem: Open Weather (2019).

Os agricultores podem utilizar dispositivos de detecção remota e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para monitorizar as suas terras, mantendo-se atentos à saúde do solo, à cobertura vegetal e às mudanças na utilização da terra. Estas ferramentas podem auxiliar na identificação de áreas de degradação do solo e cartografar as reservas de carbono. Por exemplo, os satélites multiespectrais

podem identificar áreas de *stress* vegetativo antes que se tornem visíveis a olho nu, permitindo uma intervenção precoce. Da mesma forma, os dados obtidos com estas ferramentas podem ajudar os agricultores a gerir as suas terras de maneira mais eficaz e tomar decisões informadas sobre onde aplicar fertilizantes, água ou outros tratamentos.

- **Benefícios:** A tecnologia de detecção remota e o SIG permitem aos agricultores monitorizar as suas propriedades de uma perspetiva mais ampla. Podem identificar mudanças e potenciais problemas, como o *stress* vegetativo ou degradação do solo, precocemente antes que esses problemas se agravem. A capacidade de monitorizar essas mudanças ao longo do tempo pode ajudar os agricultores a tomar decisões mais informadas sobre a gestão da terra, tais como quando e onde irrigar, aplicar fertilizantes ou implementar outros tratamentos. Isso pode resultar num aumento da produtividade das culturas e ganho económico.
- **Desafios:** Apesar dos seus muitos benefícios, a implementação da tecnologia de detecção remota e SIG pode ser desafiadora. Primeiramente, os equipamentos e *softwares* podem ser caros, tornando-os potencialmente inacessíveis para agricultores de pequena escala. Além disso, essas tecnologias geralmente requerem um certo nível de especialização técnica para serem utilizadas eficazmente, e a interpretação dos dados recolhidos pode ser complexa.
- **Aplicação:** Embora a aplicação plena dessas tecnologias possa parecer assustadora, os agricultores podem começar em pequena escala. Por exemplo, utilizando imagens de satélite *online* gratuitas para observar mudanças na utilização da terra ao longo do tempo ou empregando *softwares* básicos de SIG para cartografar as suas terras agrícolas. Diversos cursos *online* e serviços de extensão locais também podem fornecer a formação necessária.



## TÉCNICAS DE MEDIÇÃO DO CARBONO DO SOLO

O conteúdo de carbono do solo é um indicador chave da saúde do solo e do seu potencial para o sequestro de carbono. Medir o conteúdo de carbono do solo pode ser alcançado através de métodos como a combustão a seco, oxidação húmida e espectroscopia por infravermelho.



**Figura 24.** Amostras de solo no forno. A perda por ignição é uma técnica em que amostras de solo são pesadas e, em seguida, aquecidas a altas temperaturas e pesadas novamente. A alta temperatura oxidará qualquer matéria orgânica na amostra, e a diferença de peso será utilizada para calcular a quantidade de matéria orgânica. Fonte da imagem: USGS – NMWSC 2021.

A combustão seca ou perda por ignição envolve a queima de uma amostra de solo seca num forno e a medição do CO<sub>2</sub> produzido. Em contraste, a oxidação húmida envolve o tratamento de uma amostra de solo com um agente oxidante forte. A espectroscopia de infravermelho, por outro lado, envolve o uso de radiação infravermelha para determinar o conteúdo de carbono no solo.

Estas técnicas podem fornecer aos agricultores informações detalhadas sobre o status do sequestro de carbono do seu solo, ajudando-os a adotar as melhores práticas de gestão para aumentar o armazenamento de carbono no solo. No entanto, é importante notar que, embora estas técnicas forneçam informações úteis, podem requerer equipamento específico e conhecimento técnico.

- **Benefícios:** Compreender o teor de carbono do solo permite aos agricultores monitorizar a saúde do mesmo e ajustar suas práticas em conformidade. Este conhecimento pode orientar decisões sobre práticas de gestão do solo que melhoram o sequestro de carbono e a saúde do solo, levando, em última análise, a melhores rendimentos agrícolas.
- **Desafios:** As técnicas usadas para medir o conteúdo de carbono do solo requerem equipamentos específicos e conhecimento técnico. Podem ser demoradas e poderiam ser dispendiosas para os agricultores individuais implementarem por conta própria.
- **Aplicação:** Existem no mercado alguns kits de teste de solo de baixo custo e fáceis de usar que podem dar aos agricultores uma compreensão básica da saúde do seu solo. Para uma análise mais detalhada, os agricultores podem considerar formar grupos cooperativos para partilhar o custo e o conhecimento necessário para testes de solo mais avançados.



## FERRAMENTAS DE MODELAÇÃO

As ferramentas de modelação são essencialmente programas de computador que utilizam dados sobre condições e práticas atuais para prever resultados futuros. No contexto da agricultura e do sequestro de carbono, essas ferramentas podem ser muito úteis. Levam em consideração vários fatores, como as condições atuais do solo, padrões climáticos e técnicas agrícolas, e usam essas informações para prever como mudanças nessas variáveis podem afetar a quantidade de carbono que pode ser armazenada no solo.

As ferramentas de modelação permitem que os agricultores simulem diferentes cenários e vejam o impacto potencial de várias práticas de gestão nas suas terras. Por exemplo, um agricultor poderia usar uma ferramenta de modelação para comparar os resultados potenciais de dois métodos de cultivo diferentes ou diferentes rotações de culturas. O modelo forneceria então estimativas de como cada cenário teria impacto no sequestro de carbono, permitindo que o agricultor tomasse uma decisão informada sobre qual método utilizar.

O uso dessas ferramentas pode economizar tempo e recursos dos agricultores, pois oferece a oportunidade de testar diferentes estratégias sem ter que implementar e esperar por resultados observáveis fisicamente na propriedade. Isso pode permitir um melhor planeamento e uma maior eficiência, potencialmente levando a práticas que maximizem o sequestro de carbono, melhorando a saúde do solo e a produtividade.

- **Benefícios:** As ferramentas de modelação permitem aos agricultores antecipar os impactos de diferentes práticas de gestão no sequestro de carbono no solo. Elas oferecem uma maneira de simular vários cenários e tomar decisões informadas sobre práticas de gestão da terra.

- **Desafios:** Os principais desafios no uso destas ferramentas são a sua complexidade e a necessidade de dados de entrada detalhados. Alguns agricultores podem achá-las demasiado técnicas para usar sem a formação apropriada.
- **Aplicação:** Algumas destas ferramentas de modelação estão disponíveis *online* e vêm com interfaces amigáveis e orientações para a sua utilização. Os agricultores podem começar por usar modelos mais simples e gradualmente passar para os mais complexos à medida que ganham confiança e compreensão.

## MONITORIZAÇÃO BASEADA NA COMUNIDADE

Envolver as comunidades locais na monitorização das mudanças no uso da terra e na saúde do solo pode ser uma abordagem eficaz para a recolha de dados mais precisos e localmente relevantes. Isto é particularmente pertinente em regiões com sistemas de agricultura de pequena escala.

Agricultores e outros membros da comunidade podem ser formados para reconhecer os sinais de saúde do solo, as mudanças na cobertura vegetal ou outros indicadores de sequestro de carbono. Podem também contribuir para esforços de recolha de dados, por exemplo, mantendo registos da saúde do solo ou participando em atividades de amostragem de solo.

- **Benefícios:** A monitorização baseada na comunidade oferece uma abordagem de baixo custo e inclusiva para a recolha de dados localmente relevantes. Além disso, promove a troca de conhecimentos e cooperação dentro da comunidade, contribuindo para práticas agrícolas mais sustentáveis.

- **Desafios:** Pode ser desafiador organizar, formar e manter a participação ativa nas atividades de monitorização baseadas na comunidade. A qualidade e consistência dos dados recolhidos também podem ser motivo de preocupação.
- **Aplicação:** Os agricultores podem começar por organizar pequenos grupos informais para partilhar observações e conhecimentos sobre as suas terras agrícolas. Em cooperação com serviços locais de extensão agrícolas, também podem realizar avaliações básicas de saúde do solo ou levantamentos de vegetação.

## Serviços de Ecossistemas e Mercados de Carbono

Os Serviços de Ecossistemas referem-se aos benefícios que os seres humanos obtêm dos ecossistemas, que são redes complexas de organismos e do seu ambiente. Esses serviços são frequentemente agrupados em quatro categorias:

- **Serviços de Fornecimento:** Estes são os bens tangíveis que os seres humanos podem extrair dos ecossistemas, como alimentos, água, madeira e plantas medicinais.
- **Serviços de Regulação:** São os benefícios obtidos da regulação de processos naturais pelos ecossistemas, como a regulação do clima, controlo de perigos naturais, purificação da água e regulação de doenças.
- **Serviços Culturais:** Incluem os benefícios imateriais que as pessoas obtêm dos ecossistemas através do enriquecimento espiritual, desenvolvimento cognitivo, reflexão, recreação e experiências estéticas.
- **Serviços de Suporte:** Estes serviços são necessários para a produção de todos os outros Serviços de Ecossistemas. Incluem processos como o ciclo de nutrientes, formação de solo e a produção de oxigênio através da fotossíntese.

Os Serviços de Ecossistemas têm sido amplamente reconhecidos por organismos internacionais como as Nações Unidas (ONU), Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) e o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), tendo sido integrados em numerosas políticas e estratégias de gestão.

A valoração económica dos Serviços de Ecossistemas permite que estes benefícios sejam incorporados nos sistemas de mercado, o que nos leva ao conceito de mercados de carbono. Um mercado de carbono é um sistema que visa reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) atribuindo-lhes um valor económico.

Os mercados de carbono operam com base no princípio do “*cap and trade*” (limite/teto e comércio). Um limite (ou teto) é estabelecido para a quantidade total de certos gases de efeito estufa que fábricas, produtores de energia e outras fontes podem emitir. Empresas ou outros grupos recebem licenças de emissão e são obrigados a possuir um número equivalente de licenças (ou créditos), representando o direito de emitir uma quantidade específica. O total de licenças e créditos não pode exceder um limite estabelecido, que diminui ao longo do tempo para reduzir as emissões totais.

Essas licenças ou créditos podem ser negociados no mercado de carbono, fornecendo um incentivo económico para a redução das emissões. Se uma empresa reduzir as suas emissões abaixo do seu limite máximo, poderá vender as suas licenças excedentes para outras empresas ou guardá-las para uso futuro. Assim, as empresas têm um incentivo financeiro para reduzir as suas emissões.

Ao atribuir um valor monetário ao carbono armazenado nas florestas (um serviço de ecossistemas importante), os mercados de carbono oferecem um incentivo económico para a conservação das florestas e a gestão sustentável dos recursos florestais, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. Isso é chamado de REDD+ (Redução de Emissões por Desflorestação e Degradação Florestal).

O mercado voluntário de carbono é um setor do mercado geral de carbono onde indivíduos, empresas ou governos podem comprar compensações de carbono de forma voluntária. Isso é geralmente feito para mitigar as suas emissões de gases de efeito estufa. Essas compensações são quantificadas e vendidas por tonelada

métrica de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e). Elas são geradas a partir de atividades que impedem a liberação de CO<sub>2</sub> na atmosfera ou removem o CO<sub>2</sub> já presente na atmosfera.

A agricultura desempenha um papel importante no mercado voluntário de carbono, tendo os agricultores a oportunidade de gerar e vender créditos de carbono através da adoção de práticas que sequestram carbono nos seus solos agrícolas.

O processo para os agricultores certificarem o sequestro de carbono geralmente segue estas etapas:

- 1. Avaliação da linha de base:** Este é o ponto de partida para qualquer projeto de sequestro de carbono. O agricultor, em conjunto com um desenvolvedor de projetos de carbono ou uma organização acreditada, medirá o nível atual de carbono nos seus solos. Esta avaliação inicial cria uma referência contra a qual as futuras mudanças no carbono do solo podem ser comparadas.
- 2. Implementação de práticas de sequestro de carbono:** Após medir a linha de base, os agricultores precisam adotar práticas agrícolas que sejam conhecidas por sequestrar carbono no solo. Estas práticas podem incluir cultivo de cobertura, lavoura de conservação, rotação de culturas, melhor gestão do pastoreio e dos sistemas agroflorestais.
- 3. Monitorização e verificação:** Com o tempo, as mudanças nos níveis de carbono do solo devem ser monitoradas e verificadas por uma terceira parte. Estas organizações usam metodologias internacionalmente reconhecidas para assegurar precisão e integridade no processo de medição de carbono. A verificação deve ser conduzida em intervalos regulares, tipicamente a cada 5 anos, para confirmar que as práticas adotadas estão de facto a sequestrar carbono e a gerar créditos de carbono.

- 4. Certificação de créditos de carbono:** Uma vez que o processo de monitorização e verificação confirma que o carbono foi sequestrado, os créditos de carbono podem ser emitidos. Cada crédito geralmente representa o sequestro de uma tonelada métrica de CO<sub>2</sub>e.
- 5. Venda de créditos de carbono:** Os agricultores podem então vender esses créditos no mercado voluntário de carbono. Os compradores podem ser indivíduos, empresas ou governos que buscam compensar suas próprias emissões.
- 6. Repetição:** Este processo é cíclico. Após a venda dos créditos, os agricultores devem continuar a manter ou melhorar as suas práticas de sequestro de carbono para gerar novos créditos no futuro.

No entanto, é importante salientar que entrar no mercado de carbono pode ser um processo complexo. Para os pequenos agricultores, o custo e a complexidade da monitorização e verificação podem ser barreiras. Contudo, várias organizações e iniciativas estão a trabalhar para reduzir essas barreiras e tornar o mercado de carbono mais acessível aos pequenos agricultores.

Os benefícios das práticas de sequestro de carbono vão além da mitigação das alterações climáticas. Ao armazenar carbono no solo, essas práticas podem ajudar a melhorar a produtividade e a sustentabilidade agrícola.

- 1. Melhoria da Saúde do Solo:** Práticas de sequestro de carbono podem melhorar significativamente a saúde do solo. Um solo saudável contém mais matéria orgânica, o que melhora a sua estrutura, fertilidade e capacidade de retenção de água. Isto significa que pode suportar um crescimento mais robusto das plantas, reduzindo a necessidade de

fertilizantes sintéticos. Um solo rico em matéria orgânica também ajuda a promover o crescimento e a diversidade de organismos benéficos no solo, contribuindo para um ecossistema do solo mais equilibrado e resiliente.

- 2. Aumento da Produtividade:** Uma melhor saúde do solo pode conduzir a maiores rendimentos das culturas. Solos saudáveis e ricos em matéria orgânica podem fornecer às culturas água e nutrientes mais eficientemente. Isto, por sua vez, pode levar a um crescimento mais forte das plantas e a rendimentos mais elevados. Além disso, solos saudáveis podem ajudar a tornar as culturas mais resilientes a *stresses* como secas ou pragas, reduzindo o risco de falha das colheitas.
- 3. Gestão da Água:** Práticas que incrementam o sequestro de carbono, como a lavoura de conservação ou o cultivo de cobertura, podem ajudar a melhorar a gestão da água nas explorações agrícolas. Estas práticas podem aumentar a capacidade de retenção da água do solo, reduzindo o risco de *stress* hídrico durante períodos de seca. Também podem ajudar a reduzir a escoamento durante chuvas intensas, minimizando a erosão do solo e a perda de nutrientes.
- 4. Biodiversidade:** Práticas de sequestro de carbono também podem ajudar a melhorar a biodiversidade, tanto acima como abaixo do solo. Por exemplo, o cultivo de cobertura pode fornecer *habitat* para insetos benéficos e outros animais selvagens. Abaixo do solo, essas práticas podem aumentar a diversidade de organismos do solo, que desempenham papéis vitais no ciclo de nutrientes e na supressão de doenças.
- 5. Benefícios Económicos:** Embora existam custos associados à implementação de práticas de sequestro de carbono, muitas vezes estes podem ser compensados pelos benefícios. Por exemplo, o aumento



dos rendimentos das culturas pode levar a um maior rendimento para os agricultores. Além disso, os solos mais saudáveis podem reduzir a necessidade de fertilizantes sintéticos ou irrigação, poupando potencialmente dinheiro aos agricultores a longo prazo. E, como já discutimos anteriormente, há o potencial para um rendimento adicional proveniente da venda de créditos de carbono no mercado voluntário de carbono.

Ao integrarem práticas de sequestro de carbono nas suas operações, os agricultores não só contribuem para a mitigação das alterações climáticas, mas também aumentam a sustentabilidade e resiliência das suas explorações, melhorando a sua rentabilidade no processo.

## Conclusão

A agricultura desempenha um papel multifacetado no tecido socioeconómico e na dinâmica ambiental do nosso mundo. O seu impacto generalizado, caracterizado por uma gama de tendências e benefícios, deixa uma pegada substancial no clima global. Explorar a interação entre a agricultura e o meio ambiente é particularmente relevante em regiões como o Mediterrâneo, onde paisagens diversas e padrões climáticos intrincados criam um ambiente propício para as manifestações das alterações climáticas.

A ameaça da desertificação no Mediterrâneo Norte é uma preocupação primordial, afetando diretamente a viabilidade da agricultura na região. Esse fenómeno, desencadeado por uma combinação de variações climáticas e atividades humanas, leva à degradação do solo, redução da fertilidade da terra e alterações na biodiversidade. A desertificação apresenta ameaças significativas para as economias locais e a segurança alimentar.

A perspetiva de um colapso ecológico iminente não é inevitável. A deteção atempada dos indícios de desertificação, aliada a medidas corretivas bem orientadas, tem o potencial não só de retardar, mas também de travar ou reverter a trajetória de degradação do solo. A monitorização cuidada das alterações na cobertura vegetal, nas características do solo e nos níveis de erosão constitui um conjunto de indicadores essenciais para identificar precocemente a desertificação, permitindo intervenções mais eficazes e sustentáveis.

Em resposta aos desafios da desertificação e das mudanças climáticas, a Agricultura Inteligente para o Clima (AIC) oferece esperança. Esta abordagem, focada em aumentar a resiliência, elevar a produtividade agrícola e reduzir as emissões de gases de efeito estufa, fornece um roteiro em direção à

transformação agrícola sustentável. No entanto, a transição dos métodos agrícolas convencionais para a AIC não é isenta de dificuldades. Os agricultores podem encontrar desafios relacionados ao investimento inicial necessário, à necessidade de adquirir novos conhecimentos e aptidões, e à incerteza associada à mudança das práticas agrícolas estabelecidas e tradicionais.

A agricultura tem um papel que ultrapassa a produção alimentar, sendo um elemento crucial no ciclo global do carbono. Os agricultores possuem a capacidade de alterar a quantidade de carbono retido nos solos através das suas práticas de gestão, representando assim uma frente ativa na mitigação das alterações climáticas. Técnicas como a rotação de culturas e a gestão de resíduos podem aumentar a capacidade de sequestro de carbono do solo, aumentando acima a produtividade e a resiliência climática das explorações agrícolas.

No seio da União Europeia, enquadramentos políticos como a Política Agrícola Comum (PAC) apoiam e incentivam a transição para uma agricultura sustentável. A PAC fornece incentivos financeiros e diretrizes políticas coesas que estimulam os agricultores a implementar práticas que fomentem a sustentabilidade ambiental e a viabilidade económica das suas atividades.

A monitorização e a implementação de práticas sustentáveis necessitam da utilização de uma panóplia de ferramentas e técnicas. As tecnologias de deteção remota e Sistemas de Informação Geográfica oferecem oportunidades sem precedentes para o mapeamento do uso do solo e o acompanhamento das suas alterações ao longo do tempo. As técnicas de medição do carbono no solo fornecem informações diretas e detalhadas sobre o teor de carbono presente. As ferramentas de modelação proporcionam visões preditivas sobre os impactos potenciais de diferentes práticas de gestão na capacidade de sequestro de carbono do solo. A participação das comunidades locais no

processo de monitorização garante dados mais precisos e relevantes para a realidade local. Os sistemas de certificação asseguram aos compradores e consumidores a sustentabilidade dos produtos agrícolas.

Contudo, estes instrumentos apresentam desafios, em particular para os pequenos agricultores ou aqueles em contextos com poucos recursos. Os custos iniciais de investimento, o conhecimento técnico e a acessibilidade podem constituir barreiras consideráveis. Não obstante, os múltiplos benefícios que estes instrumentos proporcionam em termos de precisão de dados, poder preditivo e garantia de mercado tornam-nos indispensáveis na paisagem agrícola moderna.

Este manual é um recurso inestimável para agricultores e gestores de terras na região do Mediterrâneo. O seu objetivo é fornecer orientações práticas e conhecimento teórico que facilitem a adoção de práticas de Agricultura Inteligente para o Clima (AIC). Ao dotar os agricultores com a compreensão necessária dos requisitos dos sistemas, a importância das práticas sustentáveis e o conhecimento técnico para a implementação, o manual visa capacitá-los a dar os primeiros passos em direção a um futuro agrícola mais sustentável.

O manual também destaca a Política Agrícola Comum (PAC) da União Europeia. Este quadro político incentiva a transição para práticas agrícolas sustentáveis, oferecendo apoio financeiro e incentivos aos agricultores. Ao alinhar-se com os objetivos da PAC, os agricultores podem contribuir para a preservação dos recursos naturais, a redução das emissões de gases de efeito estufa e a manutenção dos meios de subsistência rurais.

A implementação de práticas sustentáveis exige o uso de várias ferramentas e técnicas. As tecnologias de deteção remota e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) permitem aos agricultores cartografar o uso

da terra, monitorizar mudanças ao longo prazo e identificar áreas suscetíveis à degradação do solo. As técnicas de medição do carbono no solo fornecem *insights* valiosos sobre a saúde do solo e o potencial de sequestro de carbono. As ferramentas de modelação ajudam a prever o impacto de diferentes abordagens agrícolas na dinâmica do carbono do solo. O envolvimento das comunidades locais em esforços de monitoramento baseados na comunidade promove uma abordagem participativa para a agricultura sustentável. Os sistemas de certificação e rastreabilidade garantem aos compradores e consumidores que os produtos agrícolas são produzidos utilizando práticas que potencializam o sequestro de carbono.

Embora estas ferramentas ofereçam benefícios consideráveis, podem surgir desafios na sua implementação. Os agricultores podem enfrentar barreiras como custos iniciais elevados, conhecimento técnico limitado e a necessidade de formação especializada. Superar esses desafios requer programas de formação acessíveis, iniciativas de capacitação e apoio financeiro para garantir que os agricultores possam adotar e utilizar essas ferramentas eficazmente.

## Referências Bibliográficas

- Aguilera, E., Lassaletta, L., Gattinger, A., & Gimeno, B. S. (2013). *Managing soil carbon for climate change mitigation and adaptation in Mediterranean cropping systems: A meta analysis*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 168, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.02.003>
- Albaladejo, J., Martinez-Mena, M., Roldan, A., & Castillo, V. (1998). *Soil degradation and desertification induced by vegetation removal in a semiarid environment*. *Soil Use and Management*, 14(1), 1–5. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1998.tb00602.x>
- Álvaro-Fuentes, J., Plaza-Bonilla, D., Arrúe, J. L., Lampurlanés, J., & Cantero-Martínez, C. (2014). *Soil organic carbon storage in a no-tillage chronosequence under Mediterranean conditions*. *Plant and Soil*, 376(1), 31–41. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1167-x>
- Andreu Lazaro, J. (1945). *Defensa del suelo agrícola. Sección de Publicaciones, Prensa y Propaganda*. Ministerio de Agricultura. <http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/pags/biblioteca/fondo/44338.htm>
- Ballesteros, A. L., Chamizo, S., Mejjide, A., Aranda-barranco, S., Enrique, P., Kowalski, A. S., & Serrano-ortiz, P. (2020). *The influence of cover cropping on carbon sequestration and water use efficiency in an irrigated Mediterranean olive agrosystem*. EGU General Assembly, 2. <https://doi.org/EGU2020-18868>
- Benites, C., Cruzado, E., Pinillos, C., & Rodríguez, E. (1990). *Manual de conservación de aguas y suelos*. Ministerio de Agricultura de Perú. [http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/manual\\_conservacion/manual\\_de\\_conservacion\\_de\\_aguas\\_y\\_suelos.pdf](http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/manual_conservacion/manual_de_conservacion_de_aguas_y_suelos.pdf)
- Bot, A., & Benites, J. (2005). *The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/3/a0100e/a0100e00.htm#Contents>
- Bournay, E., & Beilstein, M. (2013). *Environment and security in the Mediterranean: Desertification*. Zoi Environment Network. <https://www.grida.no/resources/8333>

- Clemente Orta, G., & Álvarez, H. (2019). *The influence of agricultural landscape on biological control from a spatial perspective*. *Ecosistemas*, 28(1), 13-25.  
<https://doi.org/10.7818/ECOS.1730>
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., . . . Raskin, R. G. (1997). *The value of the world's ecosystem services and natural capital*. *Nature*, 387, 253–260.  
<https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J. P., Iglesias, A., . . . Xoplaki, E. (2018). *Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean*. *Nature Climate Change*, 8(11), 972–980. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0299-2>
- Daniel, T. C., Muhar, A., Arnberger, A., Aznar, O., Boyd, J. W., Chan, K. M., . . . von der Dunk, A. (2012). *Contributions of cultural services to the ecosystem services agenda*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(23), 8812–8819.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.1114773109>
- David, G. (2020). *Montado de Sobro localizado em pleno SIC de Monfurado*. Museu Virtual da Biodiversidade. [https://www.museubiodiversidade.uevora.pt/areas-classificadas/sitio-de-importancia-comunitaria-sic-de-monfurado/#specie\\_imagem-2](https://www.museubiodiversidade.uevora.pt/areas-classificadas/sitio-de-importancia-comunitaria-sic-de-monfurado/#specie_imagem-2)
- Deitch, M. J., van Docto, M., & O'Green, A. T. (2017). *Mediterranean climate and agriculturally-induced erosion in Sonoma County, California: A modeling study with management implications*. *Water*, 9(4), 259. <https://doi.org/10.3390/w9040259>
- Dimassi, B., Mary, B., Wylleman, R., Labreuche, J., Couture, D., Piraux, F., & Cohan, J. P. (2014). *Long-term effect of contrasted tillage and crop management on soil carbon dynamics during 41 years*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 188, 134–146.  
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.02.014>
- European Environment Agency. (2008). *Sensitivity to desertification and drought in Europe*. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/sensitivity-to-desertification-and-drought-in-europe/desertification-assessment-fact-sheet-adobe-pdf-file/desertification-assessment-fact-sheet-adobe-pdf-file/download>
- European Environment Agency. (2018). *Desertification*. <https://www.eea.europa.eu/themes/soil/desertification>
- FAO, (2000). *Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos*. Boletín de Tierras y Aguas, Nº 8, 2000. Capítulo 11 Cultivo en contorno. 220 pp. ISSN: 1020-8127. Retrieved from <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/lw8s.pdf>
- FAO, (2004). *Carbon sequestration in dryland soils*. Food And Agriculture Organization of the United Nations. Rome. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-Y5738e.pdf>
- FAO, (2010). *Climate-smart agriculture: Policies, practices and financing for food security, adaptation and mitigation*. Rome. Retrieved from <https://www.fao.org/3/i1881e/i1881e00.pdf>
- FAO, (2013). *Climate-Smart Agriculture Sourcebook*. Food And Agriculture Organization of the United Nations. Rome. Retrieved from <https://www.fao.org/policy-support/tools-and-publications/resources-details/en/c/421842/>
- FAO, (2018). *The state of Mediterranean forests*. Food And Agriculture Organization of the United Nations. Rome. <https://planbleu.org/wp-content/uploads/2018/11/somf2018.pdf>
- FAO, (2021). *Which farms feed the world and has farmland become more concentrated?* Rome. Retrieved from <https://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/1394557/>
- Feliciano, D., Aires, A., Arrobas, M., Pires, J., & Pinto-Correia, T. (2018). *Carbon sequestration potential of silvoarable agroforestry systems in a Mediterranean environment*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 256, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.12.019>
- Fernández Carrillo, M. A. (2015). *Medidas y técnicas de conservación de los suelos en el medio rural. Aplicación en España y la Región de Murcia* [Doctoral dissertation, Universidad de Murcia]. <https://digitum.um.es/digitum/handle/10201/47134>
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., . . . Snyder, P. (2005). *Global consequences of land use*. *Science*, 309(5734), 570–574.  
<https://doi.org/10.1126/science.1111772>

- Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., Cardoso, R. M., Soares, P. M., & Cancela, J. (2019). *Climate change impacts on viticulture: A review of grapevine responses and adaptation strategies*. *Science of The Total Environment*, 665, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.071>
- Francaviglia, R., Di Bene, C., Farina, R., & Salvati, L. (2017). *Soil organic carbon sequestration and tillage systems in the Mediterranean Basin: a data mining approach*. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 107(1), 125–137. <https://doi.org/10.1007/s10705-016-9820-z>
- Freibauer, A., Rounsevell, M. D. A., Smith, P., & Verhagen, J. (2004). *Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe*. *Geoderma*, 122(1), 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.021>
- Garcia-Franco, N., Albaladejo, J., Almagro, M., & Martínez-Mena, M. (2015). *Beneficial effects of reduced tillage and green manure on soil aggregation and stabilization of organic carbon in a Mediterranean agroecosystem*. *Soil and Tillage Research*, 153, 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.05.010>
- Han, P., Zhang, W., Wang, G., Sun, W., & Huang, Y. (2016). *Changes in soil organic carbon in croplands subjected to fertilizer management: A global meta-analysis*. *Scientific Reports*, 6, 27199. <https://doi.org/10.1038/srep27199>
- Institut Europeu de la Mediterrània. (2018). *Climate change in the Mediterranean: Environmental impacts and extreme events*. <https://www.iemed.org/publication/climate-change-in-the-mediterranean-environmental-impacts-and-extreme-events/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). *Chapter 6: Carbon and Other Biogeochemical Cycles*. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. <https://archive.ipcc.ch/report/graphics/index.php?t=Assessment%20Reports&r=AR5%20-%20WG1&f=Chapter%2006>
- Kraiwut, K. (n.d.). *Corn plantation with no tillage technique*. Shutterstock. <https://www.shutterstock.com/it/image-photo/corn-plantation-no-tillage-technique-617082044>

- Ghasal, P. C., Kumar, S., Yadav, R. P., Singh, S., Meena, V. S., & Bisht, J. K. (2016). *Conservation Agriculture and Climate Change: An Overview*. In J. K. Bisht, V. S. Meena, P. C. Ghasal, & A. Pattanayak (Eds.), *Conservation Agriculture: An Approach to Combat Climate Change in Indian Himalaya* (pp. 1-37). Springer.
- Macou, J. (2016). *Videira, Natural, Natureza* [Image]. Pixabay. <https://pixabay.com/pt/photos/videira-vinhedo-cultura-primavera-1330785/>
- Maillard, É., & Angers, D. A. (2014). *Animal manure application and soil organic carbon stocks: A meta-analysis*. *Global Change Biology*, 20(2), 666–679. <https://doi.org/10.1111/gcb.12438>
- Man, T. (2021). *Strip cropping*. The Combine Forum. <https://www.thecombineforum.com/threads/1st-attempt-strip-cropping.340436/>
- Manso, M. (2019). *Regadio em Alqueva: o milagre da multiplicação das oliveiras*. Público. Retrieved from <https://www.publico.pt/2019/09/08/economia/noticia/regadio-alqueva-milagre-multiplicacao-oliveiras-1885867#&gid=1&pid=1>
- Márquez-García, F., González-Sánchez, E. J., Castro-García, S., & Ordóñez-Fernández, R. (2013). *Improvement of soil carbon sink by cover crops in olive orchards under semiarid conditions. Influence of the type of soil and weed*. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 11(2), 335-346. <https://doi.org/10.5424/sjar/2013112-3558>
- Matson, P. A., Parton, W. J., Power, A. G., & Swift, M. J. (1997). *Agricultural intensification and ecosystem properties*. *Science*, 277(5325), 504-509. <https://doi.org/10.1126/science.277.5325.504>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Biodiversity synthesis*. World Resources Institute. Retrieved from <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.354.aspx.pdf>
- Nieto, O. M., Castro, J., & Fernandez, E. (2011). *Long-term effects of residue management on soil fertility in Mediterranean olive grove: Simulating carbon sequestration with RothC model*. In B. E. O. Gungor (Ed.), *Principles, application and assessment in soil science* (pp. 129-149). IntechOpen.



- OpenWeather. (2019). *Visualisation of the NDVI index on satellite maps*. Custom palettes for agricultural applications. Retrieved from <https://openweathermap.medium.com/visualisation-of-the-ndvi-index-on-satellite-maps-custom-palettes-for-agricultural-applications-f99b0652f991>
- Our World in Data. (n.d.). *Land use*. Retrieved July 21, 2023, from <https://ourworldindata.org/land-use>
- Patterson, M. (2005). *Field and hedge*. Geograph. Retrieved from <https://www.geograph.org.uk/photo/245638>
- Pisano, A., Olita, A., Sorgente, R., Ribotti, A., & Perilli, A. (2020). *A warming Mediterranean: 38 years of increasing sea surface temperature*. *Remote Sensing*, 12(17), 2687. <https://doi.org/10.3390/rs12172687>
- Poeplau, C., & Don, A. (2015). *Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops - A meta-analysis*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 200, 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024>
- Rosati, A. (2017). *Olive-asparagus-bulb system in traditional olive orchard system. Lessons learnt - Wild asparagus and other crops in olive orchards in Italy*. AGFORWARD. Retrieved from [https://www.agforward.eu/documents/LessonsLearnt/WP3\\_I\\_Olive\\_asparagus\\_lessons%20learnt.pdf](https://www.agforward.eu/documents/LessonsLearnt/WP3_I_Olive_asparagus_lessons%20learnt.pdf)
- Roxo, M. J. (1994). *A Acção antrópica no processo de degradação de solos: A Serra de Serpa e Mértola*. FCSH-UNL. Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências Sociais e Humanas.
- Ruibérriz, M. A. R., Bojollo, R. M. C., Braña, C. A., Lizana, A. R., & Fernández, R. M. O. (2012). *Carbon sequestration potential of residues of different types of cover crops in olive groves under Mediterranean climate*. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10(3), 649-661.
- St. Luce, M. (2022). *Pea and wheat crop rotation plots at AAFC Swift Current, Sask*. Top Crop Manager. Retrieved from <https://www.topcropmanager.com/adding-diverse-crops-into-prairie-rotations/>

- Tema. (n.d.). *Green fertilization project in olive groves*. The Turkish Foundation for Combating Soil Erosion, for Reforestation and the Protection of Natural Habitats. Retrieved from <https://www.tema.org.tr/en/our-works/rural-development/green-fertilization-project-in-olive-grove-areas>
- Tscharntke, T., Klein, A. M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I., & Thies, C. (2005). *Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity—ecosystem service management*. *Ecology Letters*, 8(8), 857-874. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x>
- Tsonkova, P., Muys, B., Pelkmans, L., & Ceulemans, R. (2012). *Greenhouse gas emissions and carbon sequestration by agroforestry systems in smallholder farming systems in Southern Africa*. *Journal of Environmental Management*, 111, 113-122. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.06.042>
- USGS - NMWSC. (2021). *Loss of ignition*. New Mexico Water Science Center. Retrieved from <https://www.usgs.gov/media/images/loss-ignition-usgs-nmwsc>
- Van Muysen, W., Govers, G., Bergkamp, G., Roxo, M., & Poesen, J. (1999). *Measurement and modelling of the effects of initial soil conditions and slope gradient on soil translocation by tillage*. *Soil and Tillage Research*, 51(3-4), 303-316. [https://doi.org/10.1016/S01671987\(99\)00044-6](https://doi.org/10.1016/S01671987(99)00044-6)
- Vanuga, J. (2011). *Contour farming and terraces, Tombs, County, Georgia*. USDA Natural Resources Conservation Service. Retrieved from <https://photogallery.nrcs.usda.gov/netpub/server.np?find&catalog=catalog&template=detail.np&field=itemid&op=matches&value=1905&site=PhotoGallery>
- Zittis, G., Hadjinicolaou, P., & Lelieveld, J. (2019). *Climate change impacts and adaptation options in the eastern Mediterranean and the Middle East and North Africa region*. *Regional Environmental Change*, 19(3), 695-708. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1431-8>