(E1.4.1) MANUAL DE BOAS PRÁTICAS PARA REDUZIR O IMPACTE AMBIENTAL DOS FOSFATOS NA AGRICULTURA

Interreg Sudoe
Co-funded by the European Union
Phos4Cycle

Índice

1 Introdução..... 5

2 Do Diagnóstico à Ação - o Manual na Gestão Sustentável do Fósforo.....6

3 Gestão Sustentável do fósforo.....7

3.1 Contaminação dos solos e da água pelo fósforo.....8

3.2 Solos.....10

3.3 Fertilizantes.....15

3.4 Balanço de P no solo.....17

3.5 Água.....18

Ficha Técnica: Gestão do fósforo na cultura do Milho.....21

Gestão do Fósforo no Solo.....21

1.1 Diagnóstico do estado de fertilidade do solo.....21

1.2 Proteção e conservação do solo.....24

Tipos de mobilização do solo.....25

1.3 Utilização do solo e gestão de resíduos.....27

Fertilização..... 29

2.1 Princípios gerais:.....29

2.3 Técnica de aplicação dos fertilizantes.....30

2.4 Tipo de fertilizantes fosfatados.....31

Proteção das massas de água..... 32

3.1 Gestão da rega.....32

Tipos de rega.....33

Eficiência de rega *vs* Risco de perda de P.....36

3.2 Outros fatores.....37

Ficha Técnica: Gestão do fósforo na Vinha.....39

Gestão do Fósforo no Solo.....39

1.3 Diagnóstico do estado de fertilidade do solo.....39

1.2 Proteção e conservação do solo.....42

Tipos de mobilização do solo.....42

1.3 Utilização do solo e gestão de resíduos.....45

Fertilização..... 46

2.1 Princípios gerais:.....46

2.2 Época de aplicação dos fertilizantes.....46

2.3 Técnica de aplicação dos fertilizantes.....47
2.4 Tipo de fertilizantes fosfatados.....47
Fertirrega.....47
Proteção das massas de água.....48
3.1 Gestão da rega.....48
Tipos de rega.....49
3.2 Outros fatores.....50
Ficha Técnica: Gestão do fósforo na sucessão de culturas arvenses.....52
Gestão do Fósforo no Solo.....52
1.1 Diagnóstico do estado de fertilidade do solo.....52
1.2 Proteção e conservação do solo.....55
Tipos de mobilização do solo.....56
1.3 Utilização do solo e gestão de resíduos.....59
Fertilização.....62
2.1 -Princípios gerais:.....62
2.2 - Época de aplicação dos fertilizantes.....62
2.3 - Técnica de aplicação dos fertilizantes.....63
2.4 - Tipo de fertilizantes fosfatados.....64
Boas práticas recomendadas na gestão da fertilização.....65
Proteção das massas de água.....65
3.1 - Gestão da rega.....65
Tipos de rega.....65
Eficiência da rega *vs*. Risco de perda de P.....70
3.2 – Outros fatores.....70
Ficha Técnica: Gestão do fósforo no Montado.....73
Gestão do Fósforo no Solo.....73
1.1 Diagnóstico do estado de fertilidade do solo.....74
1.2 Proteção e conservação do solo.....77
1.3 Utilização do solo e gestão da vegetação (pastagens e árvores).....80
Fertilização.....88
2.1 Princípios gerais:.....88
2.2 Época de aplicação dos fertilizantes.....88
2.3 Técnica de aplicação dos fertilizantes.....88

Proteção das massas de água.....90
3.1 Manutenção das zonas de infiltração e gestão da vegetação ribeirinha.....90
3.2 Outros fatores.....90
Ficha Técnica: Gestão do fósforo na Produção Avícola.....93
Gestão do Fósforo no Solo.....93
1.1 Diagnóstico do estado de fertilidade do solo.....94
1.2 Proteção e conservação do solo.....96
Melhoria do Solo.....96
Proteção contra a erosão.....97
1.3 Utilização do solo e gestão de resíduos.....97
Pastagem.....97
Instalação e conservação.....98
Fertilização.....101
2.1 -Princípios gerais:.....101
2.2 - Época de aplicação dos fertilizantes.....101
2.3 - Técnica de aplicação dos fertilizantes.....102
Proteção das massas de água.....103
3.1 - Gestão da rega.....103
3.2 Outros fatores.....103
Gestão da produção avícola.....105
4.1 Gestão do bem-estar animal.....105
Boas práticas recomendadas na gestão da produção avícola.....109
4. Referências Bibliográficas.....111

1 Introdução

A gestão do fósforo nos sistemas agrícolas e agropecuários assenta num equilíbrio rigoroso entre dois objetivos, assegurar a produtividade das culturas e proteger o solo e os recursos hídricos. O fósforo é um nutriente essencial e um recurso finito, mas o seu uso ineficiente conduz à acumulação no solo e à mobilização para as massas de água, com consequências diretas na eutrofização e na degradação da qualidade dos recursos hídricos. Por se tratar de poluição difusa, gerada de forma dispersa pelo território, o fenómeno só se compreende e se gere à escala da bacia ou da sub-bacia hidrográfica, onde a relação entre as práticas de gestão e a resposta do sistema se torna observável. O espaço SUDOE, devido às suas características, um forte setor primário e atividade pecuária e uma extensa superfície agrícola, é particularmente sensível a estes processos, agravados pela forte pressão das alterações climáticas, com a ocorrência de episódios de inundações, seca e escassez de água.

Apesar da existência de instrumentos abrangentes para a proteção do solo e da água, a regulação específica do fósforo permanece frágil na maioria dos Estados-Membros, em contraste com o quadro consolidado aplicável aos nitratos. É esta ausência regulamentar que confere importância ao Phos4Cycle, centrando-se na prevenção da poluição na origem, nos próprios sistemas agrícolas e agropecuários. É neste esforço de prevenção que o presente manual reúne as boas práticas que permitem conciliar estes objetivos, traduzindo em recomendações operacionais o conhecimento técnico-científico gerado nos estudos dos projetos-piloto.

Este Manual de Boas Práticas constitui uma das três soluções desenvolvidas pelo projeto e apresenta as boas práticas que permitem reduzir o impacte ambiental dos fosfatos sem comprometer a produtividade das culturas. As recomendações que apresenta não derivam de pressupostos teóricos, mas da avaliação, em condições reais de campo, das estratégias de gestão testadas em seis projetos-piloto representativos dos sistemas produtivos de Portugal, Espanha e França. Esta base de evidência transnacional assegura recomendações robustas e uma amplitude de aplicação que ultrapassa os limites geográficos dos pilotos, alcançando outros territórios do espaço SUDOE com condições edafoclimáticas e produtivas semelhantes.

Dirigido a apoiar uma comunidade alargada de técnicos, agricultores e criadores de gado na adoção de práticas de gestão sustentáveis do fósforo, o manual traduz o conhecimento do projeto em orientações operacionais, organizadas por sistema produtivo e estruturadas em torno das três dimensões, a sua gestão no solo, a fertilização e a proteção das massas de água, fornecendo critérios de decisão que cada agricultor adapta às condições concretas da sua exploração. Estas dimensões são

complementadas no caso do sistema avícola, por uma dimensão específica de gestão da produção. As fichas técnicas por sistema produtivo (milho, vinha, sucessão de culturas arvenses, montado e produção avícola), que reúnem as recomendações, os critérios de diagnóstico e as práticas validadas para cada contexto. Inclui ainda uma ferramenta de diagnóstico rápido, comum a todos os sistemas, que classifica o nível de risco de poluição por fósforo de uma parcela a partir de sete fatores: a textura do solo, o teor de matéria orgânica, o pH, o teor de P_2O_5 disponível, o declive, o tipo de rega e a cobertura do solo.

Mais do que um repositório de princípios, pretende ser um instrumento de decisão próximo de quem atua no terreno, capaz de orientar escolhas concretas em cada exploração e de aproximar a prática agrícola e agro-pecuária dos objetivos de economia circular e de proteção dos recursos hídricos consagrados nas políticas europeias.

2 Do Diagnóstico à Ação - o Manual na Gestão Sustentável do Fósforo

O manual de boas práticas não é um documento autónomo, mas uma das três soluções complementares desenvolvidas pelo Phos4Cycle. O *Guia de Monitorização de Fosfatos*, o *Modelo de Previsão do Risco de Contaminação* e o presente *Manual de Boas Práticas* articulam-se numa sequência que cobre o ciclo completo da gestão do fósforo, conhecer o estado do sistema, antecipar o risco e agir para o reduzir e o valor de cada solução aumenta quando utilizada em conjunto com as restantes.

O *Guia de Monitorização* fornece a base de conhecimento. Estrutura a análise integrada de três matrizes interdependentes, solo, sedimentos e água, à escala da sub-bacia hidrográfica, identificada nos projetos pilotos como a unidade funcional mais adequada para relacionar as práticas de gestão com a resposta do sistema. A determinação do fósforo disponível pelo método de Olsen, do fósforo total e dos parâmetros que condicionam a sua dinâmica, combinada com a monitorização pontual e com a monitorização contínua da qualidade da água por estações multiespectrais, permite saber onde o fósforo se acumula, como se mobiliza e com que intensidade é exportado para as massas de água. É este conhecimento que fundamenta qualquer decisão de gestão e que alimenta o modelo de previsão.

O *Modelo de Previsão do Risco de Contaminação* converte esse conhecimento em capacidade de antecipação. Disponibilizado como aplicação web acessível a utilizadores sem formação técnica especializada, integra dados edafoclimáticos, de gestão e de monitorização para estimar o risco de mobilização do fósforo numa região definida pelo utilizador. A partir do teor de fósforo no solo e do tipo de gestão

praticado, o modelo cartografa as zonas críticas, antecipa o efeito de eventos de precipitação intensa e simula cenários alternativos, como a redução das doses de fertilização, a introdução de coberto vegetal, a dosagem variável de fósforo ou a aplicação de biochar, quantificando o benefício esperado de cada opção antes da sua aplicação. O resultado, exportável em relatório, indica onde e quando intervir e qual a medida com maior potencial de redução do risco.

É neste ponto que o manual assume a sua função. Onde o modelo aponta o risco, o manual oferece a resposta, o conjunto de medidas preventivas e corretivas cuja eficácia foi demonstrada nos projetos pilotos, organizadas nas dimensões da gestão do solo, da racionalização da fertilização e da proteção das massas de água. A ferramenta de diagnóstico rápido que o manual integra estabelece a ligação direta com o modelo, ao permitir que o técnico ou o agricultor classifique, a partir de sete fatores de risco, a vulnerabilidade da sua parcela e selecione as boas práticas adequadas. A previsão antecipa o problema e as boas práticas resolvem-no. Esta articulação retroalimenta-se. As medidas adotadas a partir do manual contribuem para alterar a dinâmica do fósforo no sistema, a monitorização verifica o seu efeito e realimenta o modelo, e as recomendações ajustam-se progressivamente à evidência acumulada. Esta complementaridade favorece ainda a integração das soluções nos instrumentos de política agroambiental, aproximando a decisão técnica no terreno das metas europeias de proteção dos solos e das massas de água.

3 Gestão Sustentável do fósforo

A gestão sustentável do fósforo é essencial para conciliar a produção de alimentos, com a proteção ambiental e valor económico, garantindo o uso eficiente de um recurso finito e estratégico cujas reservas mundiais são escassas e geograficamente concentradas. Ao ajustar a fertilização às reais necessidades das culturas, valorizar o fósforo já presente no solo e fechar o ciclo deste nutriente, é possível reduzir a dependência de fertilizantes, preservar a fertilidade do solo e prevenir a contaminação dos recursos hídricos.

A gestão sustentável do fósforo é crucial para cumprir com os objetivos da Diretiva Monitorização do Solo (Diretiva (EU) 2025/2360, EU, 2025) e da da Diretiva-Quadro da Água (Diretiva 2000/60/CE, EU, 2000). Estas duas Diretivas permitem reforçar a resiliência do solo, a produtividade agrícola, a biodiversidade, e alcançar o 'bom estado' ecológico e químico das massas de água, contribuindo para os objetivos climáticos e ambientais até 2050.

3.1 Contaminação dos solos e da água pelo fósforo

O fósforo (P) é um elemento essencial para o crescimento das plantas e dos animais. Nas plantas o P é essencial para o enraizamento, fotossíntese e para a qualidade dos frutos. Industrialmente os fertilizantes fosfatados utilizados na agricultura, são sintetizados em diferentes formulações a partir do P proveniente de rochas fosfatadas. As reservas das rochas fosfatadas são finitas e concentradas, estando referenciadas desde 2014 como uma matéria-prima escassa sob elevada pressão (Comissão Europeia, 2014) representando um risco significativo para a agricultura a nível mundial. Na agricultura, o mau uso do P que se traduz por baixa eficiência no aproveitamento deste nutriente pelas plantas, constitui um risco elevado de contaminação dos solos e recursos hídricos por P, visto ser um elemento que facilmente se insolubiliza no solo ao formar ligações com metais e/ou com bases. A sua acumulação em grandes concentrações nos solos agrícolas é critica, podendo até mesmo adquirir mobilidade no interior do solo, deslocando-se por lixiviação, por escoamento superficial e/ou por erosão hídrica do solo, provocando a contaminação das massas de água superficiais e/ou subterrâneas. Os níveis excessivos de P nas massas de água superficiais provoca eutrofização. A boa gestão do P é determinante para a produtividade das culturas, para a saúde do solo e para a qualidade da água nas bacias hidrográficas.

O ciclo do P é caracterizado pelo equilíbrio entre as regulações abióticas e bióticas (Fig. 1). As regulações abióticas são os processos físico-químicos que dizem respeito à dissolução/precipitação de formas de P no solo e à adsorção/dessorção do P retido na fase sólida do solo. Estes processos dizem-se abióticos porque ocorrem sem a intervenção de organismos vivos, sendo estes a adsorção/dessorção do P, a dissolução/ precipitação, a meteorização, a lixiviação, o escoamento e a erosão, e a deposição atmosférica (Horta e Torrent, 2010).

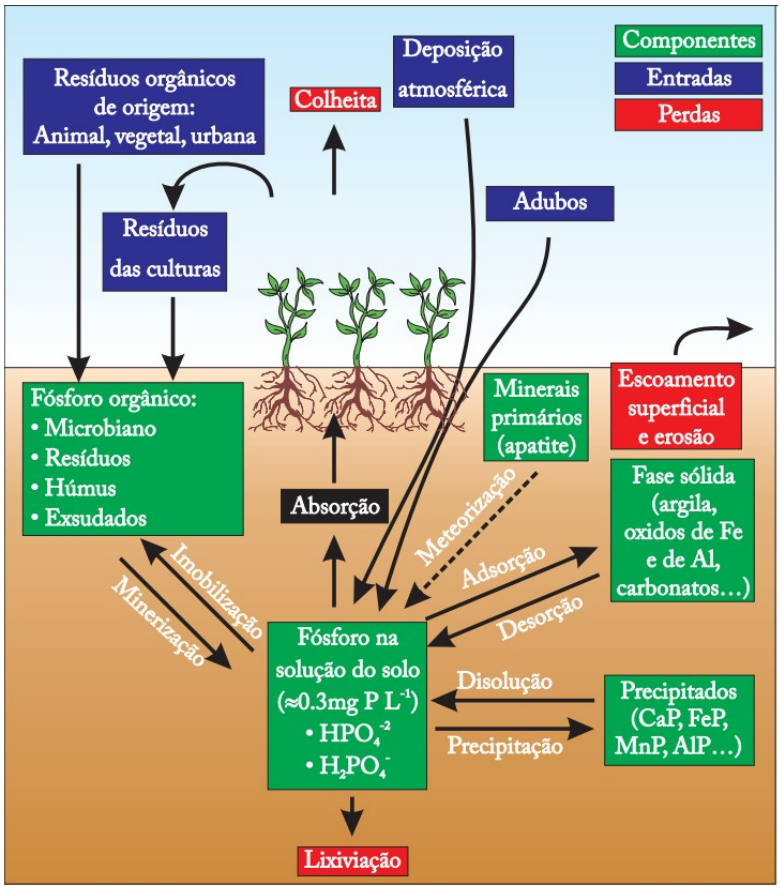


Figura 1- Dinâmica do P e a sua regulação no sistema solo-planta. Retirado de Horta e Torrent, 2010.

As regulações bióticas são os processos mediados por organismos vivos, que regulam a mineralização do P orgânico em formas orgânicas mais simples no solo. As regulações bióticas são caracterizadas pela absorção radicular, a mineralização, a imobilização temporária nos microrganismos, os exsudados radiculares e a remoção de P do sistema quando da colheita.

O uso excessivo ou inadequado de fertilizantes fosfatados pode levar a perdas de P no sistema solo-planta que ocorrem devido à erosão, à lixiviação ou devido ao escoamento (Fig. 2). A perda do P por erosão hídrica do solo ocorre principalmente em áreas com declives acentuados, alta pluviosidade e mais acentuadamente quando os solos são mobilizados e permanecem sem cobertura ou com fraco coberto vegetal. O P que não é absorvido pelas plantas e/ou o P que está ligado/adsorvido às partículas do solo, desloca-se no interior do solo por lixiviação ou é arrastado juntamento com o solo por força do escoamento superficial da água no processo de erosão hídrica, tendo como destino a água subterrânea ou as águas superficiais, respetivamente.

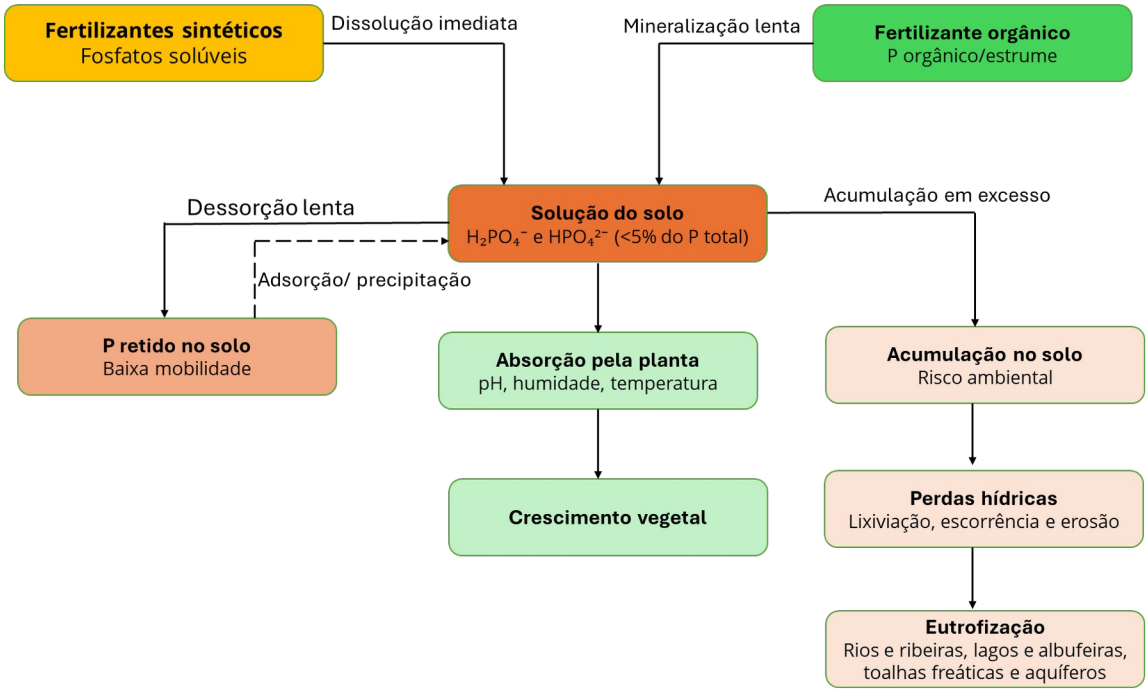


Figura 2- Fontes de fósforo e vias de perdas de fósforo, fatores que influenciam o risco de contaminação

Quando há eventos de precipitação e/ou rega após a aplicação de P, aumenta-se muito o risco de escoamento e/ou de lixiviação do P que não foi absorvido pela planta. Esse risco é ainda maior quando as doses de fertilização são elevadas e pouco fracionadas.

3.2 Solos

No solo, o P encontra-se sob a forma orgânica e/ou mineral e a sua disponibilidade para as plantas depende da forma em que ele se encontra. A disponibilidade de P para ser absorvido pelas plantas é muito variável e depende de diversos fatores (Fig. 3) que concorrem com a absorção das plantas, reduzindo bastante a eficiência de aproveitamento do P por estas quando comparado aos demais macronutrientes.

Menos de 5% do P total no solo encontra-se em formas imediatamente disponíveis para as plantas, ou disponíveis a curto prazo. A sua disponibilidade no solo para as plantas em formas iónicas absorvíveis ($H_2PO_4^-$ e HPO_4^{2-}) ocorre principalmente devido à taxa de mineralização da matéria orgânica e processos posteriores de adsorção nas partículas do solo, precipitação de compostos insolúveis e de quelação por ligantes orgânicos.

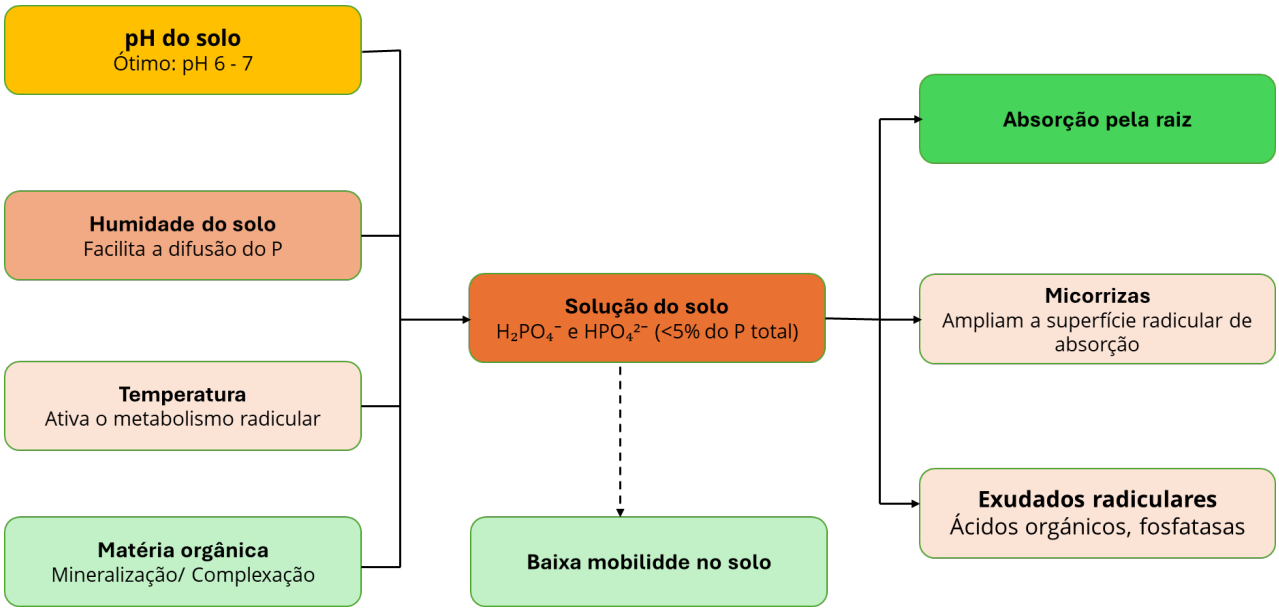


Figura 3- Fatores que condicionam a disponibilidade do P na solução do solo e os mecanismos de absorção pela planta.

A forma de P preferencialmente absorvida pelas plantas é o ortofosfato primário ($H_2PO_4^-$) que se encontra em maior concentração em solos ácidos. O ortofosfato secundário (HPO_4^{2-}) encontra-se em maior concentração em solos alcalinos e a sua absorção pelas plantas é mais difícil, pois exige um maior gasto energético da planta por ter mais carga negativa (Horta e Torrent, 2010). As formas orgânicas de P no solo constituem 15 a 80 % do P total do solo constituindo uma reserva que se vai disponibilizando, e passando às formas absorvíveis, de acordo com as taxas de mineralização da matéria orgânica do solo.

Em laboratório determina-se nas amostras de solo o teor de fósforo assimilável (P_2O_5) através de métodos que promovem a máxima oxidação de todas as formas de fósforo presentes no solo que possam ser assimiladas ou absorvidas pelas plantas. As análises podem ser realizadas através de dois métodos de referência: o método de Olsen ou o método de Egner-Riehm, sendo que a diferença reside essencialmente na solução de extração, sendo o primeiro método recomendado para solos calcários (com teores elevados de carbonato de cálcio) e o segundo recomendado para os solos ácidos a neutros. O método Egner-Riehm é o método de referência para os laboratórios em Portugal por serem os solos maioritariamente ácidos. Em Espanha e França são mais abundantes os solos de pH neutro a alcalino, pelo que o método Olsen é o método analítico tomado como referência para a determinação do fósforo assimilável (P_2O_5).

Na prática, o P_2O_5 é a forma molecular universal padronizada utilizada nos resultados dos boletins de análises de solos, na informação das matérias fertilizantes, na informação relativas às necessidades do nutriente pelas plantas de acordo com a produções esperadas e demais informação que seja necessária para realizar os cálculos de concentração de P nos balanços que constituem os planos de fertilização.

Tabela 1-Classes de fertilidade do solo para fósforo assimilável (P_2O_5)

Parâmetro	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
P_2O_5 - Egner-Riehm (mg/kg)	≤25	25 – 50	51 – 100	101 – 200	> 200
P_2O_5 - (Olsen) (mg/kg)	≤18	18 –34	35–56	57–115	>115
pH (H_2O)	< 5,5 (ácido)	5,5 – 6,0	6,0 – 6,5 (ideal)	6,5 – 7,5	> 7,5 (alcalino)
Matéria Orgânica (%)	< 1,0	1,0 – 2,0	2,0 – 3,5	3,5 – 5,0	> 5,0

Adaptado de Calouro et al., (2022). Manual de Fertilização das Culturas, INIAV

A disponibilidade do P será influenciada por vários fatores do solo que podem ser medidos/determinados e/ou observados tais como, o **pH**, a **textura** e **estrutura** do solo.

O valor do pH do solo influencia muito a disponibilidade do P porque a maior ou menor abundância de elementos que se possam ligar aos fosfatos insolubilizando-os, depende do pH do solo. Assim, a máxima disponibilidade do P assimilável ocorre para um intervalo muito pequeno de pH, quando está entre o 6 e 7 (Fig. 4). Em solos ácidos a fixação por óxidos e hidróxidos de Fe, Al e Mn, torna o P indisponível para as plantas porque forma compostos insolúveis, precipitando no próprio solo e podendo ser posteriormente arrastados juntamente com os sedimentos do solo nos processos de erosão hídrica. Em solos alcalinos ocorre também a fixação por cálcio e insolubilização porque assume a forma de fosfato tricálcico ($Ca_3(PO_4)_2$). A correção do pH do solo (calagem) é fundamental para melhorar a disponibilidade de P na estreita janela de pH entre 6 e 7.

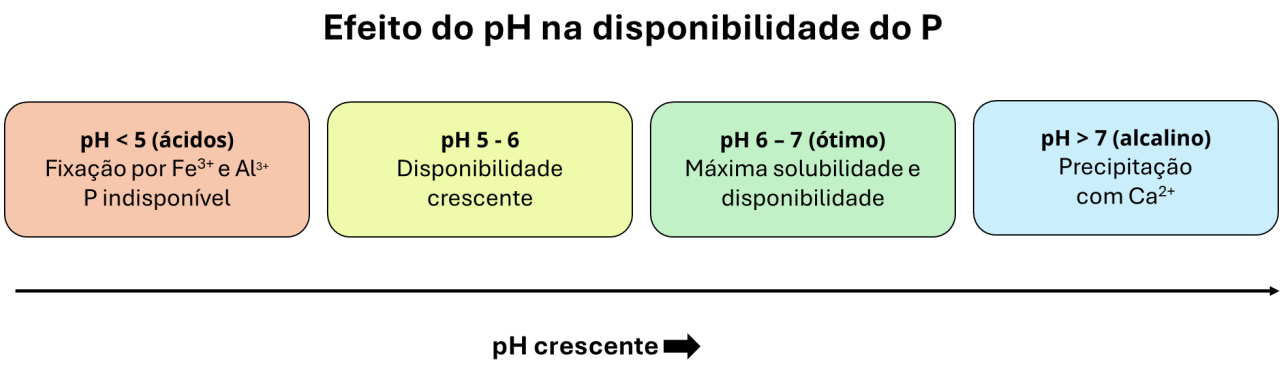


Figura 4- Efeito do pH na disponibilidade do P.

A textura do solo também tem impacto na adsorção do P no solo. Os solos com maior teor de argila e mais intemperizados, possuem maior capacidade de adsorção quando comparados a solos mais arenosos. Em solos com elevado processo de intemperismo, a adubação fosfatada

é pouco eficaz porque a maior parte do P aplicado fica imobilizado, na forma de precipitados e fixados aos coloides do solo.

A **estrutura do solo** também influencia fortemente o risco de perda de fósforo. Um solo compactado reduz a absorção do fósforo porque limita a expansão radicular da planta e as taxas de infiltração da água no solo, facilitando as perdas por escoamento superficial. Por outro lado, a boa estrutura ou boa agregação do solo, traduz-se em melhores taxas de infiltração da água no solo e menores concentrações de escoamento à superfície, ou seja, menor quantidade de energia para o processo de arrastamento do solo por erosão hídrica.

Promover uma boa agregação do solo através da implementação das boas práticas de gestão do mesmo, tais como a reposição da matéria orgânica perdida anualmente para que seja reposta a matéria orgânica estável que foi mineralizada no ano, ou para aumentar o seu teor, bem como a prática das rotações e/ou consociações de culturas, mobilização do solo reduzida a nula, manter o solo sempre coberto e protegido do excesso de energia da chuva e/ou do sol ou manter a presença de elevado volume de biomassa radicular, aumenta a sua funcionalidade promovendo maior eficiência na captação de todos os nutrientes pelas plantas instaladas. Logo, todas as práticas que promovam uma boa agregação do solo, reduzem bastante o risco de perdas de fósforo para as massas de água.

A elevada probabilidade dos compostos de P serem insolúveis ou estarem fortemente ligados à superfície das partículas do solo, aumenta o risco de deficiência deste nutriente nas plantas. Para aumentar a disponibilidade do P para as culturas é necessário implementar práticas que retenham o P no solo evitando a sua perda, mas que confiram condições ótimas para que a proporção de P disponível para absorção seja superior às formas adsorvidas e insolubilizadas no solo.

A adsorção de P ao solo é entendida como um fenómeno de retenção do elemento ao solo e deve-se principalmente à adsorção de P pelas superfícies ativas do solo, como argilas, óxidos e hidróxidos ferro, alumínio e manganês, aos carbonatos e à M.O. (Novais et al., 2007).

A M.O. tem um papel muito vasto em várias propriedades do solo e relativamente ao P, em particular, destaca-se a sua importância na disponibilidade deste elemento:

- **Mineralização**: os microrganismos do solo decompõem o P orgânico, convertendo-o em fósforo mineral disponível para absorção pelas plantas. Este processo é complementado pela **atividade microbiana**, na qual a M.O. serve de substrato para os microrganismos que completam o ciclo do P no solo, e pelas **fosfatases microbianas** — enzimas produzidas pelos microrganismos do solo — que quebram os ésteres fosfóricos presentes na M.O. e libertam o P inorgânico para a solução do solo;
- **Redução da adsorção**: os ácidos húmicos competem com o P adsorvido à fase sólida do solo (óxidos de Fe, Al, Mn e argilas), reduzindo o P que fica insolubilizado, ficando adsorvido temporariamente às moléculas húmicas, disponibilizando-se para absorção pelas plantas após a ação microbiológica sobre estas moléculas.;

- **Estabilização do pH ótimo:** a M.O. tem forte efeito **tampão sobre o pH**, permitindo a estabilização do mesmo próximo dos valores de 6–7 após uma correção do pH do solo. Este aspeto aumenta bastante a disponibilidade do P.

A Tabela 2 indica o efeito do teor de M.O. sobre a disponibilidade do P, mediante a classe de fertilidade do solo em P.

Tabela 2 – Classes de fertilidade do solo de acordo com o teor de MO e o impacto sobre o fósforo

Classe	M.O. (%)	Impacto sobre o fósforo no solo
Muito Baixo	< 1,0	Mineralização lenta; fósforo orgânico indisponível
Baixo	1,0-2,0	Baixa resposta à fertilização
Médio	2,0-3,5	Boa atividade microbiana; mineralização regular
Alto	3,5-5,0	Elevada reserva de fósforo orgânico; menor necessidade de fósforo mineral
Muito Alto	> 5,0	Reserva importante; atenção à mineralização do fósforo

O **sinergismo e antagonismo** relativamente a alguns dos nutrientes do solo também irá ditar a maior ou menor eficiência de absorção do P por parte das plantas. Um dos exemplos é a interação favorável entre P e potássio (K). Tendo o K um papel crucial no desenvolvimento das raízes e regulação da abertura dos estomas, acaba por favorecer a absorção de P porque aumenta a sua mobilidade em direção às raízes e o volume da rizosfera. Quanto maior for o contato da raiz com o P, mais facilmente se dá a absorção do nutriente. Por outro lado, há situações de antagonismos, que correspondem a uma interação negativa. Ou seja, o excesso de P poderá inibir a absorção dos micronutrientes Zn e Fe porque compete pelos sítios de adsorção no solo.

As micorrizas são de extrema importância no aumento da eficiência de absorção de nutrientes pela planta, e muito particularmente para os nutrientes de reduzida mobilidade no solo, como é o caso do P, que se desloca pelo processo lento de difusão, o qual depende da manutenção de gradientes de concentração do P na solução do solo. Distinguem-se essencialmente dois tipos de micorrizas **ectomicorrizas** e as **endomicorrizas**. As primeiras têm um desenvolvimento exterior às células das raízes, o fungo não penetra nas células da raiz, desenvolve-se entre as células criando uma rede espessa à superfície da raiz, crescendo apenas nos espaços entre as células. É mais comum em ecossistemas florestais. As segundas têm desenvolvimento interno às paredes celulares das raízes, o fungo penetra diretamente no interior das células da raiz, desenvolvendo estruturas ramificadas em forma de árvore (arbúsculos), que são os locais onde ocorrem as trocas de nutrientes, e daí a designação também de ***micorrizas arbusculares***. São encontradas na maioria das plantas cultivadas, desempenhando um papel crucial no fornecimento de fósforo e outros nutrientes para as plantas. As micorrizas arbusculares são mais comum nas culturas agrícolas.

Além das micorrizas há microrganismos que facilitam a dissolução do fósforo precipitado no solo. São os solubilizadores de fosfatos representados por várias bactérias, particularmente as

pertencentes aos géneros *Pseudomonas e Bacillus*, bem como por fungos pertencentes aos géneros *Penicillium* e *Aspergillus*. Os solubilizadores de fosfatos têm a capacidade de solubilizar o fósforo inorgânico, que se encontra insolubilizado e precipitado no solo, para o tornar novamente disponível para as plantas o absorverem. Os mecanismos de solubilização são a produção de ácidos ou a quelação de metais por estes organismos, libertando o fósforo novamente para a solução do solo (Singh e Kapoor, 1999).

Os mecanismos acima descritos aumentam bastante a **eficiência de uso do fósforo** pelas plantas, cabendo ao agricultor garantir as condições ótimas de pH, teor de M.O., agregação do solo e diversidade microbiológica, através da implementação das boas práticas recomendadas, para reduzir substancialmente o risco de poluição das massas de água por P.

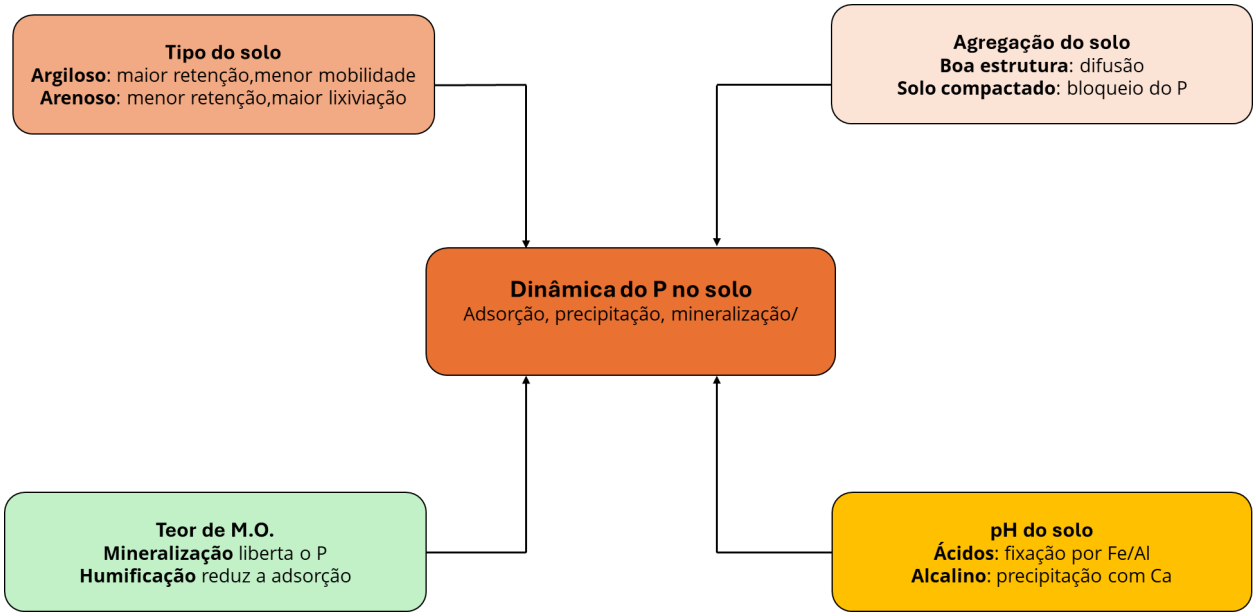


Figura 5- Dinâmica do P no solo e os fatores que condicionam ou favorecem a adsorção, precipitação e mineralização do P no solo

A figura 5, resume a dinâmica e destino do P no solo, segundo os fatores: tipos de solo, estado da agregação do solo, teor de MO e pH. Estes fatores condicionam a adsorção, precipitação e mineralização do P no sistema solo-planta.

3.3 Fertilizantes

Os fertilizantes são todos os produtos utilizados com o objetivo de manter ou melhorar a fertilidade do solo, corrigindo algumas das propriedades de modo a assegurar a nutrição adequada das culturas. Os fertilizantes englobam uma extensa variedade de substâncias, que fornecem nutrientes ao solo, sendo eles de origem orgânica, mineral ou corretivos (Calouro et al., 2022).

Os fertilizantes organizam-se em dois grupos: adubos e corretivos. Os **adubos** podem ser naturais ou sintéticos, minerais ou orgânicos sendo produtos que permitem corrigir com maior precisão os balanços de nutrientes, dando resposta mais imediata às necessidades das plantas a curto prazo. Os **corretivos orgânicos** são substâncias de origem orgânica que têm

como principal papel a correção do teor em M.O., o que é fundamental para a melhor agregação e descompactação do solo, fornecendo também nutrientes, mas a mais longo prazo, de acordo com as taxas de mineralização dos diferentes tipos de M.O. (para razões C/N baixas a mineralização é mais rápida e a disponibilidade de nutrientes é mais imediata). Os corretivos minerais são substâncias de origem inorgânica usadas na agricultura para ajustar as propriedades químicas do solo. Servem para corrigir o pH, para neutralizar elementos tóxicos (como o alumínio, p.ex.), melhorar a estrutura física do solo e poder fornecer nutrientes essenciais como o cálcio, o magnésio ou enxofre (Calouro et al., 2022). Normalmente são naturais, menos dispendiosos que os adubos e aplicados em grandes quantidades para se obter o efeito corretivo desejado.

Os **adubos fosfatados sintéticos** fornecem fosfatos de elevada solubilidade que podem ser imediatamente absorvidos pelas plantas. Os **adubos orgânicos** só disponibilizam as formas iónicas fosfatadas após a mineralização das moléculas orgânicas. A disponibilidade imediata e em grandes quantidades, das formas iónicas do fósforo nos adubos sintéticos, leva à acumulação do fósforo no solo sempre que ultrapassem a capacidade real de absorção das plantas e estejam reunidas as condições ideais para a sua fixação/adsorção/insolubilização.

A diferença crucial entre os adubos sintéticos e os orgânicos centra-se na solubilidade e disponibilização imediata ou não das formas iónicas do fósforo ($H_2PO_4^-$ e HPO_4^{2-}) no solo.

Estas formas iónicas chegam às raízes por difusão, que é um processo lento de mobilidade dependente dos gradientes de concentração em fosfatos na solução do solo. A captação pelas raízes também pode ser feita por interceção física, mas esta só tem representatividade se a rizosfera tiver grande volume e se estiver a raiz bem micorrizada, porque aumenta a superfície específica de contato.

A elevada solubilidade dos adubos associada à lenta captação por parte das plantas, favorece a probabilidade de insolubilização dos fosfatos ao combinarem-se com o Fe, Al ou Mn em solos ácidos ou ao Ca em solos alcalinos. Estes aspetos poderão reduzir bastante a eficiência das adubações fosfatadas sintéticas, uma vez que a planta só poderá fazer proveito de uma pequena parte dos fosfatos aplicados, promovendo a acumulação de grandes quantidades de fósforo precipitado nos solos sob risco de perdas por erosão hídrica e/ou por lixiviação, ainda que com menor representatividade por esta última via.

Globalmente, na falta de melhor informação, assume-se um coeficiente de utilização dos fosfatos veiculados pelos adubos sintéticos, de aproximadamente 20% a 30% para o ano de aplicação dos adubos. A baixa eficiência deve-se à conjugação da baixa mobilidade do elemento na solução do solo, com a elevada reatividade, formando compostos insolúveis.

Adubos orgânicos e corretivos da MO

Os adubos fosfatados classificam-se em:

- **Inorgânicos ou minerais** (naturais ou de síntese),
- **Orgânicos** e,
- **Organominerais**,

dependendo da forma mineral, orgânica ou de ambas as formas em que o fósforo se apresenta.

Adubos minerais: Os superfosfatos apresentam praticamente todo o fósforo em formas muito solúveis na água. A forma granulada comparativamente à forma pulverulenta, permite uma maior homogeneidade de distribuição no terreno, minimizando as reações de precipitação do nutriente no solo porque proporciona menor superfície específica, conferindo solubilidade mais controlada.

Adubos orgânicos e organominerais fosfatados: combinam materiais orgânicos com fontes naturais de fósforo. Eles são essenciais para o desenvolvimento radicular, floração e frutificação. Ao contrário dos adubos minerais de alta solubilidade, os orgânicos oferecem uma libertação gradual e melhoram a fertilidade do solo a longo prazo. As matérias naturais que podem enriquecer estes adubos em fósforo são, por exemplo, a farinha de osso e os fosfatos naturais de pó de rocha.

Corretivos orgânicos: Os corretivos orgânicos são os produtos de origem animal e/ou vegetal, com elevado teor de carbono, aplicados para melhorar ou conservar as boas características físicas, químicas e biológicas do solo, fornecendo também nutrientes à velocidade das taxas de mineralização das substâncias orgânicas que constituem estes corretivos. Alguns exemplos são as lamas de depuração, resíduos domésticos orgânicos e chorumes como fontes orgânicas de razão C/N baixa e elevada taxa de mineralização; estrumes e compostos agrícolas como fontes orgânicas de razão C/N mais elevada, o que lhes confere taxas de mineralização mais lenta.

3.4 Balanço de P no solo

Os principais contributos para a nutrição fosfatada da cultura incluem o fósforo disponibilizado pelo solo durante o ciclo vegetativo, podendo também ser contabilizados o fósforo fornecido ao solo pela água de rega e o proveniente de resíduos das culturas precedentes.

As perdas de fósforo a partir do solo são as que podem ocorrer por arrastamento nas águas de escoamento e de percolação.

A estimativa da quantidade de fósforo a fornecer pela fertilização a uma determinada cultura pode, então, ser calculada através da expressão (Despacho n.º 1230/2018, 5 de fevereiro):

$$F_P = P - (P_s + P_a + P_r) + P_l$$

em que:

F_P : fósforo a fornecer pela fertilização, em kg ha $^{-1}$ de P_2O_5

P : necessidades da cultura em fósforo para um determinado nível de produção, em kg ha^{-1} de P_2O_5

P_s : Fósforo disponibilizado pelo solo durante o ciclo vegetativo da cultura, em kg ha^{-1} de P_2O_5

P_a : Fósforo fornecido ao solo através da água de rega em kg ha^{-1} de P_2O_5

P_r : Fósforo proveniente dos resíduos das culturas precedentes, em kg ha^{-1} de P_2O_5

P_l : perdas de fósforo por arrastamento nas águas de escoamento e/ou de percolação/lixiviação , em kg ha^{-1} de P_2O_5

3.5 Água

A água é o principal vetor de transferência do P do solo para o meio hídrico e a dimensão ambiental onde os seus efeitos se tornam mais visíveis e difíceis de reverter. A Figura 7 ilustra os principais fatores que conduzem à contaminação por P à escala da bacia hidrográfica. O P em excesso no solo tem pouca mobilidade, ficando retido por adsorção e precipitação acumulando-se nas camadas mais superficiais. Na presença de água, o P ganha mobilidade perde-se por lixiviação, por arrastamento em escoamento superficial e/ou por arrastamento com o próprio solo nos processos de erosão hídrica, tendo como destino as massas de água superficiais ou subterrâneas. Neste contexto, a gestão da água assume um papel determinante na proteção das massas de água, porque é o teor de água no solo que condiciona a mobilização do P. Na rega, fator que o agricultor controla, uma elevada eficiência de aplicação (EA) e elevada uniformidade de distribuição (UD), mantém a água na zona radicular reduzindo o risco de perda de P para as águas superficiais e subterrâneas. Pelo contrário, uma rega com dotações excessivas, baixa uniformidade ou aplicada em solo já próximo da saturação hídrica, pode aumentar substancialmente esse risco. A precipitação atua sobre os mesmos mecanismos, mas é não controlável e, frequentemente, de maior magnitude. Eventos de precipitação intensa geram grandes quantidades de água que excedem a capacidade de infiltração e de retenção do solo, desencadeiam o escoamento superficial e percolação profunda, e fornecem a energia que arrasta as partículas de solo na erosão hídrica, a principal via de perda do P particulado. O risco agrava-se quando a precipitação ocorre sobre solos saturados, mobilizados, declivosos ou sem coberto vegetal e em solos com elevado teor de P. A ocorrência de precipitação ou a rega logo após a fertilização amplifica fortemente as perdas do nutriente ainda não absorvido pela planta, tanto mais quanto mais elevadas e menos fracionadas forem as doses aplicadas. A gestão do risco passa não só por uma rega eficiente e uniforme, mas também por calendarizar a fertilização em função da previsão meteorológica.

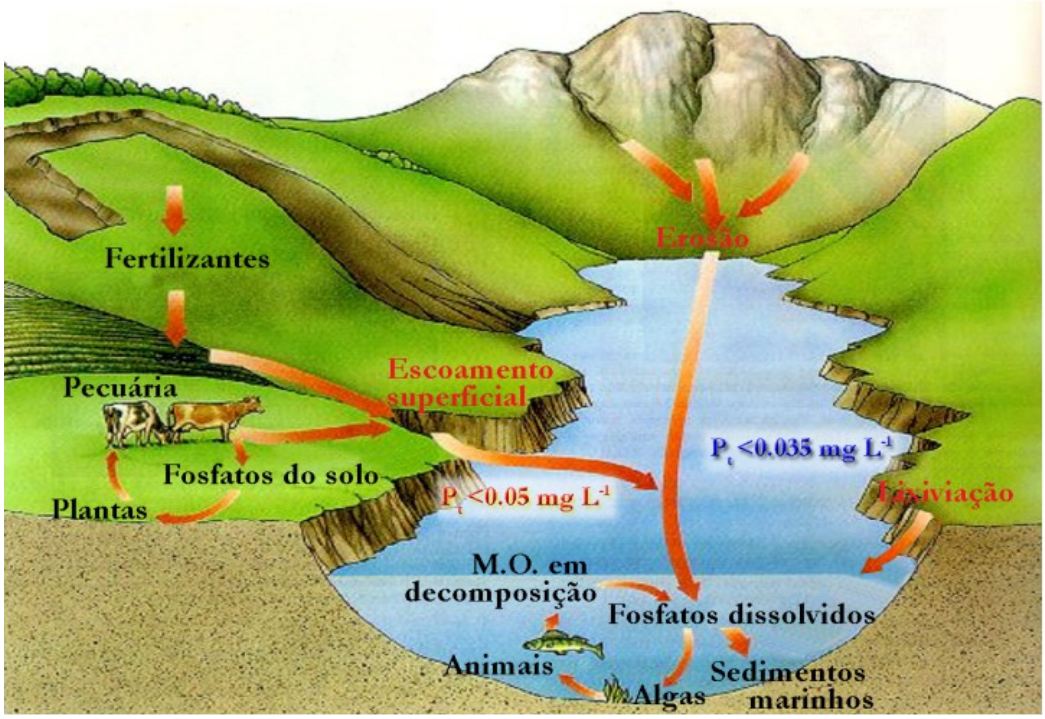


Figura 7- Ciclo do Fósforo a nível da bacia hidrográfica, ilustrando as principais vias de contaminação, nomeadamente o escoamento superficial, lixiviação e erosão, e os processos de decomposição da matéria orgânica, sedimentação e absorção por algas e animais. (Retirado de Horta e Torrent, 2010).

O impacte na qualidade da água manifesta-se na eutrofização das águas superficiais e na contaminação de aquíferos. A primeira, mais imediata, traduz-se pelo enriquecimento das águas superficiais em nutrientes e o desenvolvimento excessivo de microalgas e cianobactérias, tendo um duplo efeito sobre a qualidade da água, a redução da penetração da luz, que limita a fotossíntese das comunidades submersas, e a depleção do oxigénio dissolvido durante a decomposição da biomassa algal, conduzindo a hipóxia ou anóxia. O resultado afeta todas as formas de vida aquática, resultando na mortalidade de peixes e outros macrorganismos, na produção de gases tóxicos e cianotoxinas e, a prazo, na perda de biodiversidade e na alteração dos ecossistemas aquáticos. Os principais responsáveis são o fósforo (P) e o azoto (N); sendo o P, em regra, o nutriente limitante nas águas doces, mesmo concentrações reduzidas podem desencadear o processo, o que reforça a importância de controlar as perdas a partir do solo. A segunda, mais persistente, ocorre quando o P atinge os aquíferos, ainda que por mecanismos distintos e em regra menos expressivos, dado ficar fortemente retido no solo no complexo de adsorção do solo, sendo a sua mobilidade vertical reduzida. A contaminação ocorre sob condições específicas, em solos de baixa capacidade de fixação (arenosos, pobres em óxidos de ferro e alumínio e em argila, ou orgânicos), solos saturados em P, com o agravamento do P acumulado ao longo de décadas, e fluxos preferenciais (macroporos, canais radiculares e, sobretudo, drenagem subsuperficial) que permitem à água curto-circuitar a matriz do solo. Acrescem o transporte coloidal, em que o P migra adsorvido a coloides móveis, e a dissolução redutiva, pela qual, em condições anaeróbias, os óxidos de ferro (III) que retêm o P reduzem-se a ferro (II) solúvel, libertando-o. Esta contaminação é relevante pela conectividade hidráulica com as águas superficiais, pois os aquíferos alimentam rios, nascentes e zonas húmidas, pelo que, uma vez contaminados, se tornam fonte difusa e persistente de P, capaz de manter a eutrofização durante anos mesmo após controladas as entradas à superfície. Como a sua renovação é muito lenta, a recuperação é demorada, o que reforça que, no caso do P, a prevenção é determinante e a remediação pouco viável.

A relevância ambiental do P reflete-se no quadro legislativo da água. A Diretiva-Quadro da Água (2000/60/CE), transposta por cada estado-membro, identifica os fosfatos entre os poluentes responsáveis pela eutrofização e fixa o objetivo do «bom estado» das massas de água, cabendo a cada estado-membro definir os valores de referência de P para o seu território. A Diretiva Águas Subterrâneas (2006/118/CE) estabelece normas de qualidade comunitárias apenas para os nitratos (50 mg L^{-1}) e os pesticidas, remetendo os restantes poluentes que possam representar um risco, incluindo os fosfatos para limites a definir por cada estado-membro em função da avaliação de risco de cada massa de água. A Diretiva Nitratos (91/676/CEE) designa como Zonas Vulneráveis aos Nitratos (ZVN) as áreas com concentrações persistentemente superiores a 50 mg L^{-1} de nitratos (NO_3^-). As ZVN ficam sujeitas a um Plano de Ação, que impõe a monitorização anual de nitratos e fosfatos e restringe a fertilização com matéria orgânica de origem animal a 170 kg N ha^{-1}. Ainda que

dirigida ao azoto (N), esta limitação restringe indiretamente a entrada de P por via dos efluentes pecuários, que veiculam simultaneamente N e P, tornando a Diretiva Nitratos um instrumento de controlo também do P, embora por via indireta.

A montante, sobre a origem agrícola das perdas de P, e no contexto nacional de cada um dos Países, Espanha, França e Portugal, o Código de Boas Práticas Agrícolas reúne um conjunto alargado de medidas de fertilização destinadas a minimizar o risco de contaminação das massas de água, em particular por fosfatos e nitratos.

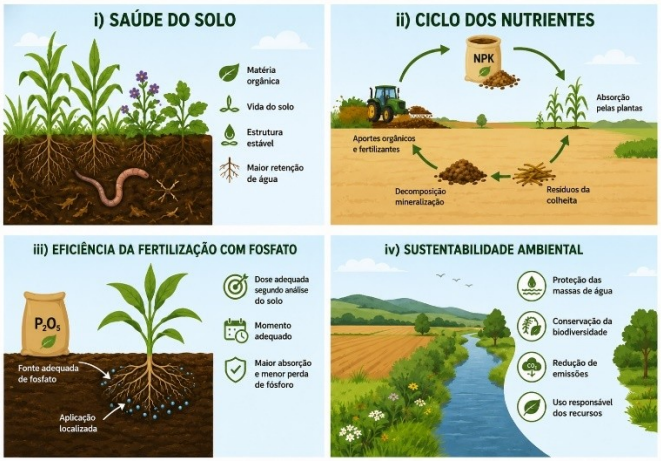
Gerir o fósforo de forma responsável, através de práticas agrícolas e agropecuárias adequadas, é atualmente um desafio para o espaço SUDOE. Trata-se de um nutriente essencial à produção de alimentos, mas que, em excesso, se torna fonte de degradação do solo e da água. O presente manual constitui a base técnica que harmoniza o trabalho desenvolvido no âmbito do projeto Phos4Cycle, traduzindo o conhecimento científico gerado em práticas produtivas mais sustentáveis e em contributos para as políticas públicas do setor. O caminho para a sustentabilidade do espaço SUDOE, constrói-se em cada exploração agrícola e agro-pecuária e em cada decisão de gestão.

Ficha Técnica: Gestão do fósforo na cultura do Milho

A gestão do fósforo (P) no solo é essencial para a produtividade do milho e para prevenir a contaminação dos recursos hídricos. O P desempenha um papel fundamental no desenvolvimento das raízes, na fotossíntese e no vigor vegetativo e produtivo. As práticas descritas nesta ficha aplicam-se à cultura de milho grão e milho para silagem.

1 Gestão do Fósforo no Solo

As boas práticas na gestão do fósforo no solo são positivas para:



Aspetos importantes a considerar na gestão do P na cultura de milho

- Avaliação do estado da fertilidade do solo e necessidades de correção;
- Proteção e conservação do solo;
- Utilização do solo (sucessão de culturas, consociação, rotação de culturas, culturas permanentes, culturas de cobertura), gestão de resíduos e da intensidade de mobilização do solo;
- Tipo de fertilizantes, doses, épocas e técnicas de aplicação;
- Condições climáticas.

1.1 Diagnóstico do estado de fertilidade do solo

A avaliação do estado de fertilidade do solo antes da sementeira é fundamental na cultura do milho, uma vez que permite conhecer a disponibilidade de nutrientes e adaptar as práticas de fertilização às necessidades da cultura. Um acompanhamento periódico dos indicadores de fertilidade (pH, MO, macro e micronutrientes) ajuda a otimizar a utilização dos fatores de produção, a manter a produtividade do sistema e a prevenir desequilíbrios nutricionais. Além disso, contribui para a conservação da qualidade do solo a longo prazo, favorecendo uma gestão sustentável dos recursos e

reduzindo o risco de contaminação das massas de água associado a uma fertilização inadequada. A análise dos solos deve ser realizada antes da sementeira, em momento oportuno para a realização do **balanço de P**, necessário à realização do **plano de fertilização**.
A determinação da textura do solo também é importante para se perceber o nível de suscetibilidade para as perdas de P. Os solos de textura grosseira/ligeira, pobres em MO, são mais facilmente erodidos do que os solos de textura fina/pesada e, sendo de elevada permeabilidade para a água, serão mais suscetíveis a perdas de P por lixiviação. Portanto, solos de textura grosseira tenderão a ser menos férteis em P.

Como interpretar os resultados de P no solo

Classe	**P_2O_5 - Égner-Riehm (mg/kg)**	**P_2O_5 - (Olsen) (mg/kg)**	**Interpretação**	**Ação recomendada**
Muito Baixo	≤25	≤18	Disponibilidade de P muito reduzida	Realizar fertilização fosfatada. Espera-se uma resposta muito elevada da cultura à fertilização
Baixo	26–50	18 –34	Disponibilidade de P reduzida	Realizar fertilização fosfatada. Espera-se uma resposta elevada da cultura à fertilização
Médio	51–100	35–56	Disponibilidade de P satisfatória	Realizar fertilização fosfatada. Espera-se uma boa resposta da cultura à fertilização
Alto	101–200	57–115	Disponibilidade de P elevada	Reduzir ou suspender a fertilização fosfatada, de acordo com a produção esperada
Muito alto	> 200	>115	Disponibilidade de P muito elevada	Reduzir ou suspender a fertilização fosfatada mineral, de acordo com a produção esperada

Adaptado de Calouro et al. (2022). Manual de Fertilização das Culturas, INIAV

Como interpretar os resultados do $pH_{(H2O)}$

Classe	$pH_{(H2O)}$	Interpretação	Ação recomendada
Muito ácido	≤ 4,5	Toxicidade de Al e Mn; bloqueio de P e Mo	Corrigir com calagem (aplicação de calcário)
Ácido	4,6 - 5,5		
Pouco ácido	5,6 - 6,5	Crescente disponibilidade de P	Sem necessidade de correção da reação do solo
Neutro	6,6 – 7,5	Máxima disponibilidade de P	Sem necessidade de correção da reação do solo
Pouco alcalino	7,6 - 8,5	Início de fixação de P em fosfatos de cálcio	Sem necessidade de correção da reação do solo
Alcalino	8,6 – 9,5	Forte fixação de P; deficiências de Fe, Mn e Zn	Corrigir com enxofre ou MO
Muito alcalino	>9,5		

Adaptado de Calouro *et al.,* (2022). Manual de Fertilização das Culturas, INIAV

Nota: Em solos com pH entre 6,0 e 6,8 a disponibilidade de P é máxima e a atividade microbiana é mais intensa.

Como interpretar os resultados da MO

Classe	MO (%)	Impacto	Ação recomendada
Muito baixo	< 1,0	P orgânico indisponível	Aplicar corretivos orgânicos para aumentar o teor de MO: compostos, estrumes, chorumes em mistura com biomassa estruturante (florestal, matos, palha, serradura, etc.) e P mineral, se necessário
Baixo	1,0-2,0	P orgânico pouco disponível	Aplicar corretivos orgânicos para aumentar o teor de MO e aplicar P mineral, se necessário
Médio	2,0-3,5	Boa atividade microbiana; Média disponibilidade de P orgânico	Aplicar a quantidade de corretivos orgânicos necessários para manter o teor em MO e aplicar P mineral, se necessário
Alto	3,5-5,0	Elevada reserva de P orgânico; a disponibilidade deste nutriente depende da taxa de mineralização do P	Aplicação de menores quantidades de P mineral
Muito alto	>5,0	Reserva importante de P orgânico; a disponibilidade	Monitorizar os teores de P assimilável porque poderão

		deste nutriente depende da taxa de mineralização do P	atingir valores elevados, aumentando o risco de perdas por lixiviação e/ou arrastamento/erosão. Aplicar apenas a quantidade mínima indispensável de P mineral

Adaptado de Calouro et al., (2022). Manual de Fertilização das Culturas, INIAV

Exemplos de combinações de fatores que condicionam ou favorecem a disponibilização do P

A disponibilidade efetiva do P dependerá da combinação dos três fatores: teor de P assimilável, pH e teor de MO no solo

- **pH baixo + P_2O_5 alto** → P está presente em grande quantidade, mas bloqueado (indisponível para as plantas porque insolubiliza-se quando o pH é baixo). Realizar calagem antes da fertilização fosfatada;
- **MO baixa + P_2O_5 médio** →Aumentar o teor de M.O. do solo e, se necessário, reforçar a aplicação de P mineral.
- **pH 6,0–6,8 + MO > 2%** → Condições favoráveis para a maior disponibilidade do P para as plantas; eficiência máxima da fertilização.
- **pH > 7,3 + MO < 1 % + P_2O_5 médio ou baixo** → Condições frequentes em solos calcários, com o P bloqueado pelo cálcio proveniente dos carbonatos e reserva de P orgânico escassa. Aumentar a MO e complementar com adubos fosfatados quando se aplicarem outros nutrientes, como azoto ou potássio.

1.2 Proteção e conservação do solo

A proteção e a conservação do solo constituem aspetos fundamentais para garantir a sustentabilidade dos sistemas de produção de milho. A adoção de práticas de gestão adequadas permite preservar a estrutura, a fertilidade e a atividade biológica do solo, reduzindo os riscos de erosão, compactação e perda de nutrientes. Além disso, um solo bem conservado favorece a produtividade agrícola, melhora a eficiência na utilização dos recursos e contribui para a resiliência dos sistemas agrícolas face aos efeitos das alterações climáticas.
A mobilização de conservação do solo (nula, mínima ou reduzida) é fundamental para preservar a agregação, manter a atividade biológica do solo e evitar as perdas de P por erosão, por escoamento superficial e/ou por lixiviação.

Tipos de mobilização do solo

Mobilização convencional

É um sistema de gestão baseado na mobilização do solo a 25-35 cm de profundidade e com reviramento da terra, seguida de trabalhos de preparação da cama para a sementeira. Favorece o controlo mecânico das infestantes, a incorporação de resíduos e a preparação homogénea do terreno. No entanto, a sua aplicação contínua tende a aumentar o risco de erosão, compactação em profundidade, perda de MO e alteração da estrutura e da atividade biológica do solo.

Vantagens

- Facilita a preparação da cama de sementeira, uniformizando a superfície do terreno;
- Permite um bom controlo mecânico imediato das infestantes, mas não reduz a incidência das mesmas;
- Incorpora diretamente resíduos e fertilizantes no solo;
- Favorece o aquecimento inicial do solo.

Desvantagens

- Risco de fragmentação excessiva do solo por destruição dos agregados quando o teor em MO e/ou argila é baixo;
- Maior risco de erosão e perda de solo;
- Redução do teor de matéria orgânica porque intensifica a mineralização;
- Maior consumo de combustível e custos operacionais;
- Possível compactação de camadas profundas, formação do “calo de lavoura”;
- Alteração e eventual redução da biota do solo, com particular prejuízo para as micorrizas que são essenciais para a assimilação do P pelas plantas.

Mobilização reduzida ou mínima

Este tipo de mobilização consiste em diminuir o número, a profundidade ou a intensidade das operações de mobilização em relação à mobilização convencional. É um sistema que procura manter condições adequadas para o estabelecimento da cultura, minimizando a alteração do solo. Por isso, evita o reviramento da leiva, dando prioridade à mobilização vertical (com alfaias de dentes que cortam, mas não misturam camadas de solo), garantindo a manutenção dos resíduos da cultura anterior na camada superficial do solo. Esta modalidade de mobilização do solo pode restringir-se à mínima passagem de alfaias necessárias para a instalação da cultura, contribuindo para reduzir os custos de produção, conservar a humidade e biota do solo, diminuir o risco de erosão e favorecer a acumulação de M.O. e a estabilidade estrutural do solo.

Vantagens

- Reduz os custos das mobilizações e o consumo de combustível;
- Conserva a humidade, a estrutura e a biota do solo. Logo, preserva também os fungos micorrízicos;
- Reduz a erosão. Logo, reduz também a perda de nutrientes, nomeadamente do P e perdas de P;
- Favorece a acumulação da matéria orgânica, que é essencial à boa agregação e manutenção da biodiversidade do solo.

Desvantagens

- Pode exigir um maior uso de herbicidas para o controlo de infestantes;
- Possível aumento da compactação superficial do solo quando o coberto vegetal é fraco ou nulo;
- Necessidade de alfaias adaptadas e especialização do operador de máquinas.

Mobilização nula ou sementeira direta

Trata-se de um sistema em que não são realizados trabalhos de preparação do solo antes da sementeira, mantendo os resíduos da cultura anterior à superfície, como cobertura morta. As sementes são colocadas diretamente em covas ou ranhuras na linha, sobre os resíduos da cultura anterior, à superfície do solo. Esta prática preserva totalmente a estrutura do solo, evita a erosão, confere maior conforto térmico e hídrico, reduz a incidência de infestantes, favorece a acumulação de MO e melhora a atividade biológica. Além disso, contribui para aumentar a capacidade de retenção de água e a resiliência do sistema agrícola face a condições climáticas adversas.

Vantagens

- Máxima proteção contra a erosão e redução da evaporação direta;
- Aumenta o teor de M.O. e a atividade biológica, essencial à micorrização das raízes para melhor assimilação do P;
- A manutenção da cobertura morta aumenta a infiltração e o armazenamento da água no solo, reduz substancialmente o escoamento superficial, minimizando as perdas de P para as linhas de água;
- Reduz os custos com as mobilizações;
- Reduz as emissões de GEE associadas à utilização de maquinaria agrícola na mobilização dos solos.

Desvantagens

- Maior dependência do controlo químico das infestantes;
- Pode atrasar o aquecimento do solo na primavera;
- Requer experiência técnica e maquinaria adequada;
- Possível estratificação de nutrientes à superfície do solo

Resumo dos efeitos dos ***Tipos de mobilização*** sobre o P no solo e na água

Tipo de mobilização	**Efeito do P no solo**	**Efeito do P na água**
Mobilização convencional	Favorece a mistura e a incorporação do P no perfil do solo, reduzindo a sua acumulação à superfície. No entanto, pode acelerar a perda de MO	Aumenta o risco de transporte de P particulado devido à erosão e ao escoamento superficial, especialmente em parcelas com inclinação ou com pouca cobertura vegetal. Produz maior quantidade de sedimentos, aumentando a turbidez da água superficial
Mobilização mínima/reduzida	Tende a concentrar o P nos primeiros centímetros do solo devido à menor mistura dos horizontes, favorecendo a sua disponibilidade para as raízes superficiais. Preserva a agregação do solo e reduz a perturbação dos organismos do solo.	Reduz as perdas de P associadas à erosão, mantendo uma maior cobertura do solo, embora possa aumentar o risco de perdas de P dissolvido caso exista acumulação superficial.
Mobilização nula	Favorece a acumulação de P na camada superficial do solo; melhora a estabilidade estrutural e a atividade biológica, contribuindo para uma maior eficiência na reciclagem de nutrientes.	Minimiza as perdas de P porque promove a agregação superficial do solo e a infiltração da água; menores perdas de P particulado (P adsorvido), preservando a qualidade original das massas de água

1.3 Utilização do solo e gestão de resíduos

Rotação de culturas

A rotação de culturas constitui uma prática fundamental para a gestão sustentável do solo e dos resíduos agrícolas. A alternância de espécies, com diferentes necessidades nutricionais e diferentes sistemas radiculares, favorece uma utilização mais eficiente dos

nutrientes, incluindo o P, melhorando o seu aproveitamento e reduzindo o risco de acumulação ou esgotamento no solo. Além disso, a diversidade de resíduos vegetais protege a superfície do solo durante a maior parte do ano e contribui para a reciclagem de nutrientes, favorecendo a reincorporação do P no sistema. Por exemplo, a rotação **milho – cereais de inverno** (trigo, cevada, triticale) ajuda a manter a fertilidade do solo, a reduzir as perdas de nutrientes e a melhorar a sustentabilidade dos sistemas de produção de milho.

Consociação de culturas

As culturas consociadas consistem no cultivo simultâneo de duas ou mais espécies numa mesma parcela para melhorar a eficiência na utilização do solo e no aproveitando de forma complementar dos recursos disponíveis, como água, luz e nutrientes. Em culturas arvenses anuais, a combinação de espécies com diferentes arquiteturas radiculares e foliares favorece uma exploração mais completa do perfil do solo e da radiação solar, melhorando a mobilização e a absorção de nutrientes como o P. Além disso, contribuem para aumentar a biodiversidade, reduzir a pressão das infestantes e melhorar a cobertura e a proteção do solo contra a erosão. A consociação de culturas deve privilegiar a inclusão de leguminosas, que além de captarem o azoto atmosférico, solubilizam formas de P fixadas no solo pela sua atividade rizosférica, reduzindo a necessidade de fertilização mineral no ciclo seguinte. A consociação **milho – leguminosa** (feijão, ervilhaca, luzerna) reduz a necessidade de fertilização mineral no ciclo seguinte. Uma consociação muito popular, conhecida como o método ancestral *Milpa* e que confere complementaridade perfeita entre as culturas é a de **milho-abóbora-feijão**, com grande vantagem para as três culturas envolvidas porque maximiza o uso do solo, melhora a fertilidade natural através da fixação de azoto e reduz a necessidade de água e monda.

Culturas de cobertura

As culturas de cobertura desempenham um papel fundamental na proteção e conservação do solo em sistemas de culturas arvenses. A sua implantação entre duas culturas principais ou durante períodos de pousio, ajuda a reduzir a erosão, a melhorar a estrutura do solo, a aumentar o teor de M.O. e a favorecer a reciclagem de nutrientes. Além disso, contribuem para reduzir as perdas de nutrientes por escoamento superficial, como é o caso do P, e por lixiviação, melhorando a sustentabilidade do sistema produtivo. As culturas de cobertura deverão ter raizame abundante, formando rapidamente um coberto vegetal bem desenvolvido, de modo a garantir a proteção do solo no período de maior risco de erosão hídrica (outono-inverno). Os resíduos destas culturas deverão permanecer no solo após o corte, à sua superfície ou ligeiramente incorporados. Alguns exemplos de

culturas típicas de cobertura são o nabo forrageiro, centeio, aveia, fava e ervilhaca.

Boas práticas recomendadas para a gestão do solo
Privilegiar a rotação de culturas que incluam espécies com diferentes necessidades nutricionais e sistemas radiculares e, sempre que possível, consociadas na parcela, para melhorar a aproveitamento dos nutrientes e favorecer a estrutura e a fertilidade do solo, prevenindo as perdas do P assimilável residual no solo, deixado pela cultura precedente.
Instalar culturas de cobertura para proteger o solo contra a erosão e favorecer a reciclagem de nutrientes.
Reduzir a intensidade das mobilizações do solo através da mobilização mínima, em faixas ou da sementeira direta, minimizando a degradação estrutural do solo.
Realizar mobilizações do solo apenas durante o período de sazão para evitar a compactação e degradação da estrutura do solo.
Deixar o restolho das culturas que se sucedem na parcela, à superfície ou ligeiramente incorporado no solo, para aumentar o teor de MO do solo, como fonte de nutrientes para a biodiversidade do solo e para a cultura a instalar na sucessão e para reter a humidade;.
Aplicar fertilização variável com base em análises do solo e ferramentas de agricultura de precisão, ajustando as doses de nutrientes, como o P, às necessidades específicas de cada zona da parcela, método testado e validado no âmbito do projeto Phos4Cycle.
Incorporar o biochar como corretivo do solo para melhorar a retenção de nutrientes, aumentar a estabilidade da M.O. e favorecer a disponibilidade de P e outros elementos essenciais, também testado e validado no âmbito do projeto Phos4Cycle.
Gerir adequadamente a fertilização com fosfatos, evitando aplicações excessivas que possam aumentar o risco de poluição difusa.

2 Fertilização

2.1 Princípios gerais:

- Adequar a fertilização às necessidades da cultura para a produção esperada e de acordo com a classe de fertilidade do solo em P, recorrendo a análises do solo e a estimativas de extração para ajustar as doses de P a aplicar;
- Aplicar os nutrientes no momento e na forma mais adequados para maximizar a eficiência da sua utilização, favorecendo a disponibilidade de P durante as fases de maior procura da cultura e minimizando as perdas para o ambiente;
- Proceder ao balanço de P que tem em consideração as necessidades da cultura de

acordo com a produção esperada, a disponibilidade do nutriente no solo e as perdas de P para fora do sistema solo-planta. No caso de teores médios a elevados de P no solo, repor apenas a quantidade de P exportada pela cultura.
- Frequentemente, a análise de solo é acompanhada de recomendações de fertilização que têm em conta os aspetos acima referidos.

2.2 Época de aplicação dos fertilizantes

Na cultura do milho, a fertilização deve ser realizada de forma que os nutrientes estejam disponíveis durante os períodos de maior necessidade da cultura. No caso do P, devido à sua baixa mobilidade no solo, a aplicação deve ser efetuada antes ou durante a sementeira, incorporando-o no solo ou colocando-o junto à linha de cultivo para favorecer o desenvolvimento inicial das raízes. Esta estratégia melhora a eficiência de absorção do P e contribui para um estabelecimento mais vigoroso da cultura, especialmente em solos com baixa disponibilidade deste nutriente.
Nos solos com baixo pH, a aplicação de P deve ser precedida pela calagem. Deste modo, a reação do solo fica mais favorável à cultura e diminui a precipitação do P pelo alumínio e manganês, tornando-o mais disponível para as plantas.

2.3 Técnica de aplicação dos fertilizantes

Localizada: A aplicação de P na linha é a mais recomendada, pois concentra o nutriente próximo das raízes, o que é particularmente importante no caso dos solos ácidos ou alcalinos que tendem a fixar/insolubilizar o P, ou quando o solo não é mobilizado;

A lanço: A aplicação de P a lanço, com posterior incorporação, pode ser usada, por exemplo, quando é necessário fornecer quantidades elevadas de P ao solo;

Fertirrega: Quando a cultura é regada pode-se fazer proveito desta condição para dissolver os fertilizantes fosfatados na água de rega e assim distribuí-los mais uniformemente com a vantagem de uma assimilação mais rápida pela cultura. É facilmente implementada com sistemas de rega localizada e em sistemas de aspersão.

- Na aplicação à superfície ou **a lanço**, o fertilizante é distribuído uniformemente sobre a superfície do solo. Pode reduzir a eficiência de utilização do P se não for posteriormente incorporado no solo.
- Na aplicação **localizada**, o fertilizante é depositado junto à linha de sementeira ou às raízes da cultura. É recomendada para o P, uma vez que melhora a sua disponibilidade e absorção durante as primeiras fases de desenvolvimento da cultura.
- Quando incorporado no solo, o fertilizante mistura-se com o solo através das mobilizações efetuadas antes ou durante a sementeira, favorecendo o contacto com as raízes e reduzindo as perdas por escoamento superficial.

- A **fertirrega**, que consiste na aplicação de nutrientes dissolvidos na água de rega, pode ser utilizada apenas nos sistemas regados, sendo que o milho poderá gozar desta alternativa porque a maior parte da produção é regada.

2.4 Tipo de fertilizantes fosfatados

Adubos minerais: os superfosfatos apresentam praticamente todo o P em formas facilmente solúveis em água. A forma granulada permite uma maior homogeneidade de distribuição no terreno permitindo minimizar as reações de retenção do nutriente no solo;

Adubos orgânicos e organominerais: a libertação das formas de P orgânico é relativamente lenta e progressiva, pelo que são recomendadas para aplicações em fundo;

Corretivos orgânicos: nos planos de fertilização é indispensável considerar o contributo em P dos diferentes corretivos orgânicos que possam ser aplicados ao solo (ex. estrume, chorume, lamas de depuração, compostos agrícolas, outros).

Na cultura do milho utilizam-se principalmente os adubos minerais, que fornecem nutrientes como azoto, P e potássio em formas rapidamente disponíveis.
Também são utilizados adubos orgânicos ou adubos organominerais, combinando estes últimos com fontes minerais e orgânicas para melhorar a eficiência da fertilização.
Além disso, podem ser utilizados corretivos orgânicos, como estrume ou composto estabilizado, e biochar, destinados a melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, favorecendo a retenção de água, nutrientes e a atividade microbiana.

Pontos Críticos

- **Dose máxima de azoto de origem orgânica**: Nas Zonas Vulneráveis à contaminação por Nitratos (ZVN) a aplicação máxima de N de origem orgânica permitida é 170 kg N/ha/ano (Diretiva 91/676/CEE do Conselho). Este limite condiciona indiretamente a quantidade de P aplicada, visto que, se tomarmos como referência o estrume de bovino, as 170 unidade de N orgânico correspondem a uma aplicação máxima de aproximadamente 70 kg P_2O_5/ha/ano por via dos corretivos orgânicos.
- **Análise do efluente**: Conhecer a concentração de P total do efluente antes da aplicação; calcular o Balanço de P para se aplicar apenas o estritamente necessário para a obtenção das produções esperadas realisticamente.
- **Época e condições de aplicação**: Evitar aplicações de fertilizantes em solos saturados, com declive maior do que 8% ou antes de precipitação prevista e, para as ZVN garantir a faixa tampão de 10–50 m em relação às linhas de água.

Proteção das massas de água

Boas práticas recomendadas na gestão da fertilização
Realizar análises periódicas do solo para ajustar as aplicações de nutrientes às necessidades reais do sistema de cultivo de acordo com a produção esperada.
Planear a fertilização tendo em conta o balanço de nutrientes de toda a rotação de culturas, especialmente as entradas e saídas de P.
Combinar fertilizantes minerais e orgânicos para otimizar o fornecimento de nutrientes e manter a fertilidade do solo.
Avaliar a utilização de biochar como corretivo para melhorar a retenção de nutrientes, aumentar a eficiência do P e promover a saúde do solo, de acordo com a abordagem aplicada no projeto Phos4Cycle.
Implementar a fertilização variável através de ferramentas de agricultura de precisão para adaptar as doses à variabilidade espacial da parcela, de acordo com a abordagem aplicada no projeto Phos4Cycle.
Realizar anualmente um «Plano de Fertilização» otimizado e adequado ao teor de P assimilável no solo e às necessidades estimadas para os níveis de produção esperados, de acordo com a abordagem implementada no projeto Phos4Cycle
Ajustar as aplicações de fertilizantes orgânicos aos limites estabelecidos pela legislação em vigor, especialmente em zonas vulneráveis à poluição por nitratos.
Manter registos de fertilização e produção para avaliar a eficiência da utilização de nutrientes e facilitar a tomada de decisões.
Integrar a fertilização com outras práticas de conservação do solo, como rotações de culturas e culturas de cobertura, para melhorar a reciclagem de nutrientes.

3.1 Gestão da rega

A proteção das massas de água superficiais e subterrâneas é fundamental para garantir a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e a conservação dos ecossistemas aquáticos. No entanto, a água é o agente de difusão do P por lixiviação ou por escoamento superficial, tanto para o P dissolvido na água como para o P particulado, após a insolubilização. Embora o P apresente uma mobilidade limitada no solo, uma acumulação prolongada pode aumentar o risco de poluição difusa. O impacto na qualidade da água manifesta-se através da eutrofização das massas de água superficiais e da contaminação dos aquíferos. Por isso, é fundamental proteger as linhas de água e garantir uma boa gestão da água de rega nas parcelas cultivadas. A gestão eficiente da rega minimiza os riscos de contaminação por P das massas de água superficiais e/ou subterrâneas.

Uma boa gestão da rega implica evitar o alagamento por excesso de rega, bem como evitar regar nas horas de maior calor. No entanto, é preciso assegurar que o solo se encontra em pleno conforto hídrico para as plantas antes das horas mais quentes do dia.

Tipos de rega

Rega localizada (gota-a-gota, microaspersão e subterrânea)

A rega localizada consiste em sistemas que aplicam a água localizadamente junto da raiz, a baixa pressão, minimizando as perdas por evaporação, escoamento superficial e percolação profunda. A aplicação de água pode ser feita com emissores de gotas (por gotejamento) dispostos junto da planta ou à sua volta (na zona de distribuição radicular), por fita de microaspersão que permite uma linha contínua humedecida, por microaspersores ou por difusores enterrados próximo das raízes, na rega subterrânea. Qualquer uma das modalidades restringe a zona de humedecimento próximo das raízes. Em solos de textura média a pesada os emissores de água poderão ser dispostos mais afastados porque formam um bolbo húmido mais largo. Se os solos forem de textura ligeira, os emissores deverão estar mais próximos e em maior quantidade porque o bolbo húmido desenvolve-se mais em profundidade do que em largura. Estes sistemas permitem melhorar a eficiência na utilização da água e dos fertilizantes através da fertirrega, reduzindo o risco de perdas de P e outros nutrientes para as massas de água superficiais e subterrâneas. Embora a sua utilização seja mais frequente em culturas lenhosas e hortícolas, a sua utilização tem vindo a aumentar para culturas arvenses de elevado valor ou em condições de escassez hídrica, como o milho ou algumas rotações de rega intensiva.

Eficiência do sistema: 80–95%

Vantagens

- Elevada eficiência de rega e menor evaporação direta;
- Maior eficiência do uso da água e fertilizantes na parcela com um menor consumo energético;
- Reduzido potencial de lixiviação e de escoamento superficial da água, menor risco de arrastamento do P;
- Fácil adaptação à fertirrega;
- Reduz a incidência de infestantes na entrelinha.

Desvantagens

- Maior custo de instalação e manutenção, especialmente para os sistemas totalmente

enterrados;
- Requer sistemas de filtragem e controlo;
- Necessidade de manutenção regular para evitar entupimentos dos emissores, especialmente no caso de águas ricas em carbonatos e bicarbonatos;
- Requer manutenção de pressão mínima de funcionamento e compensação de caudais, ao longo da rampa, em terrenos acidentados.

Sistema de rega	Eficiência (%)	Risco de perdas de P
Localizada	Elevado a muito elevado (80–95 %)	Baixa
Localizada com Fertirrega	Elevado a muito elevado (80–95 %)	Média

Rega por aspersão

Os sistemas de rega por aspersão são amplamente utilizados para o cultivo de espécies arvenses de regadio, como milho, luzerna, cereais de inverno, beterraba ou culturas forrageiras. Estes sistemas distribuem a água sob a forma de chuva através de aspersores fixos ou móveis, incluindo modalidades como a de cobertura total (aspersores montados em rampas), as rampas rotativas (conhecidas por pivôs centrais) e os equipamentos de avanço frontal (rampas lineares frontais e canhões de rega). A rega por aspersão no milho e na generalidade das arvenses de regadio, terá de conferir cobertura completa da área regada para maior uniformidade da produção na parcela. Ou seja, tanto a rega realizada por aspersores montados em rampas, como a rega realizada por uma rampa rotativa ou linear/frontal ou ainda a rega realizada por um canhão de rega com desenrolador, será necessário assegurar a mesma dotação de rega em todos os pontos da parcela para que o sistema tenha uma elevada Eficiência de Aplicação (EA) e elevada Uniformidade de Distribuição (UD), garantido uma frente de água infiltrada uniforme, com progressão descendente no interior do solo. Esta rega é bastante comum em culturas de cereais anuais e/ou hortícolas, funcionando com elevada pressão e caudal. São culturas mais baixas, anuais e em linha, características que facilitam a adequação dos sistemas de rega por aspersão de cobertura completa. A sobreposição perfeita para a dotação desejada é conseguida instalando-se os aspersores nas rampas, com afastamento igual ao do seu alcance. Por outro lado, uma gestão inadequada ou projetos mal dimensionados destes sistemas de rega, podem favorecer elevadas perdas de água por evaporação, escoamento superficial e arrastamento de nutrientes. Por isso, é fundamental ajustar as doses e a frequência de rega às necessidades da cultura e às condições edafoclimáticas, contribuindo assim para reduzir o risco de transporte de P para as massas de água superficiais e subterrâneas.

Eficiência do sistema: 65–85%

Vantagens

- Adequada a extensas áreas de culturas de baixo a médio porte (arvenses, hortícolas, jardins, etc.);
- Uma vez garantido o espaçamento adequado entre aspersores, a cobertura completa garante uma boa uniformidade de distribuição da frente de humedecimento;
- A boa uniformidade de distribuição da frente de humedecimento linear, garante um bom desenvolvimento lateral das raízes por todo o volume de solo humedecido também na entrelinha, aumentando a quantidade de nutrientes potencialmente extraíveis pela planta;
- Grande diversidade de sistemas que conferem fácil adequação a várias geometrias e topografias de parcelas;
- Adaptável a diferentes tipos de solo e culturas;
- Permite a mecanização e a automatização das operações de rega.

Desvantagens

- Sistemas de rega que funcionam a média e alta pressão, constituindo maior consumo energético;
- Maiores perdas por evaporação direta em dias quentes e ventosos;
- Distorção do modelo ideal de sobreposição a partir de baixas velocidades do vento (a partir de 5 m/s ou 18 km/h);
- Poderá favorecer o desenvolvimento de maior quantidade de infestantes;
- Difícil adaptação a culturas permanentes tais como os pomares e vinhas;
- Risco de escoamento superficial se a pluviometria não for ajustada às taxas de infiltração do solo, podendo favorecer o transporte de nutrientes, incluindo o P, para as massas de água.

Rega por gravidade (ou rega de superfície)

A rega por gravidade, também conhecida por rega de superfície, consiste na prática mais antiga de rega das culturas agrícolas, consiste em distribuir a água pela parcela, aproveitando a inclinação natural do terreno ou a inclinação que pode ser conferida com precisão à superfície da parcela, permitindo que a água avance por inundação ou através de sulcos que conduzem a água. Tira o melhor partido da gravidade para reduzir a dependência em energia. É um dos sistemas de rega mais antigos para as culturas arvenses, entre as quais o milho, especialmente em zonas com disponibilidade de água e regadios tradicionais. Nas suas formas mais ou menos automatizadas, há vários tipos de rega por gravidade, que variam de acordo com o princípio ou técnica utilizado/a para

colocar a água a escorrer superficialmente na parcela a regar. Pode ser por sulcos, em canteiros, em faixas, caldeiras ou até mesmo a rega de lima que consiste numa fina lâmina de água a escorrer pelos terraços de encostas para evitar geadas e garantir pastagem permanente ao longo do ano. A eficiência de rega e uniformidade de distribuição poderão ter intervalos de variação muito grandes porque depende muito do nível de automatização e adequação do sistema de rega ao tipo de solos e culturas.

Eficiência do sistema: 40–60% (sistemas tradicionais) a **65-85%** (sistemas automatizados com nivelamento da parcela)

Vantagens

- Baixo custo de instalação e de manutenção;
- Tecnologia acessível e de fácil adaptação, de consumo energético reduzido;
- Humedece um grande volume de solo, maximizando o aproveitamento de nutrientes do solo quando a EA e UD são elevadas;
- Adequado para grandes superfícies e zonas com infraestruturas tradicionais de rega
- Mais adequadamente aplicável a solos de textura fina /solos pesados, permitindo estabelecer maiores intervalos entre regas porque os solos de textura mais fina armazenam mais água, podendo acomodar dotações de rega mais elevadas, reduzindo-se a frequência de regas.

Desvantagens

- A eficiência de rega e uniformidade de distribuição poderão ser baixas se a parcela não estiver nivelada, sulcos e valas corretamente formatados e o sistema automatizado;
- Os sistemas automatizados dificilmente se adaptam a parcelas acidentadas, exigindo terrenos de declive suave ou planos;
- Se a EA e UD forem baixas, o risco potencial de perda de nutrientes e, particularmente, de contaminação das massas de água superficiais e subterrâneas com P, é muito elevado porque as dotações de cada rega são forçosamente elevadas para que o escoamento da água possa progredir favoravelmente na parcela.

Eficiência de rega *vs* Risco de perda de P

Sistema de rega	Eficiência (%)	Risco de perdas de P
Localizada	Elevada a muito elevada (80–95%)	Baixo
Localizada com Fertirrega	Elevado a muito elevado (80–95 %)	Médio

Aspersão	Média a elevada (65–85%)	Médio
Gravidade	Baixa a média (40–70%)	Elevado

3.2 Outros fatores

O risco potencial de contaminação das massas de água por P poderá aumentar exponencialmente quando vários dos fatores referidos nas secções anteriores se conjugam. A tabela que se segue ajuda a fazer um rápido diagnóstico no qual se pode identificar a presença ou a ocorrência de um conjunto de fatores de risco. De acordo com a quantidade de fatores de risco identificados e conjugados, o nível de risco para a contaminação por P poderá ser classificado de ***reduzido*** a ***muito elevado***.

Fatores de risco	Fatores identificados	Risco de poluição
Solo de textura grosseira/ligeira ou fina/pesada (arenoso ou argiloso/limo-argiloso)	X	***Elevado***
MO menor ou igual a 2%	X	
pH menor do que 6		
P_2O_5 (Égner-Riehm-AL) maior ou igual a 200 ppm ou **P_2O_5** (Olsen) maior ou igual a 115 ppm	X	
Toalha freática superficial: profundidade igual ou menor a 2 m durante a época estival (época seca)		
Declive da parcela maior ou igual a 8%		
Rega por alagamento ou identificado escorrimento superficial da água de rega	X	
Solo compactado: macroporosidade menor do que 10%		
Cobertura do solo: nula ou fraca		
Clima de elevada precipitação: com eventos frequentes de chuva intensa e concentrada		

Escala do nível de "Risco de poluição por fósforo"		
Reduzido: até **2** fatores	***Médio:***	**3** fatores
Elevado: **4** fatores	***Muito elevado:***	Maior que **5** fatores

Nota: Tabela utilizada a título de exemplo, devendo ser adaptada à realidade de cada sistema para autodiagnóstico do risco de poluição das massas de água com P.

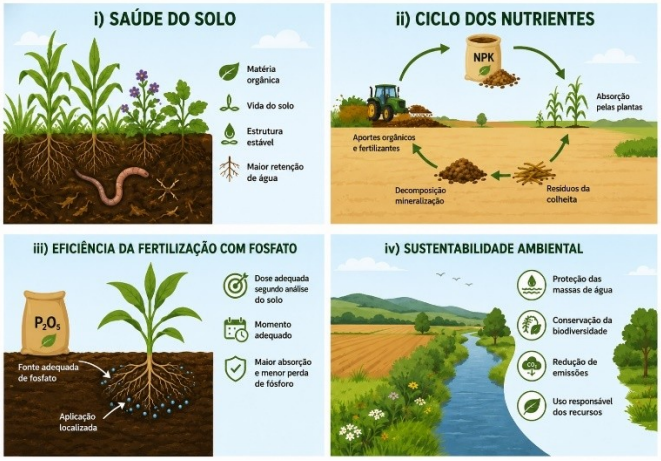
Boas práticas recomendadas para a proteção das massas de água
Otimizar a rega assegurando que a água é aplicada na parcela com elevada EA e elevada UD
Garantir que a taxa de infiltração da água de rega no solo é superior à taxa de aplicação da água
O método de rega, o equipamento escolhido, bem como a programação e a condução da rega, devem ser adequados às condições da parcela a beneficiar (topografia, área da parcela, tipo de solo, clima da região e cultura)
Ajustar as doses de fertilização, especialmente de P, às necessidades reais das culturas, através de análises do solo e planos de fertilização.
Aproveitar as possibilidades oferecidas pela fertirrega para fracionar a aplicação dos fertilizantes ao longo do ciclo da cultura, ajustando as soluções ao estado de fertilidade do solo e às necessidades sazonais da cultura
Manter faixas de proteção ou zonas-tampão com vegetação junto aos cursos de água para reduzir o arrastamento de sedimentos e nutrientes
Implementar culturas de cobertura e rotações/sucessões adequadas que favoreçam a proteção do solo e diminuam as perdas de P por erosão e escoamento superficial.
Evitar a aplicação de fertilizantes antes de episódios de chuvas intensas ou em solos saturados, reduzindo o risco de perdas de P e de poluição difusa.

Ficha Técnica: Gestão do fósforo na Vinha

O fósforo (P) é essencial para a produtividade da vinha e a sua correta gestão contribui para reduzir as fontes de poluição dos recursos hídricos. O P, enquanto elemento essencial, é fundamental para o desenvolvimento das raízes, para a fotossíntese e para o vigor vegetativo e produtivo. No entanto, devido às necessidades moderadas de P na vinha, poderá não ser necessário aplicar este elemento nas fertilizações anuais.

1 Gestão do Fósforo no Solo

As boas práticas na gestão do fósforo no solo são positivas para:



Aspetos importantes da gestão do P na vinha

- Avaliação do estado da fertilidade do solo e necessidades de correção;
- Proteção e conservação do solo;
- Utilização do solo (sucessão de culturas, consociação, rotação de culturas, culturas permanentes, culturas de cobertura), gestão de resíduos e da intensidade de mobilização do solo;
- Tipo de fertilizantes, doses, épocas e técnicas de aplicação;
- Condições climáticas.

1.3 Diagnóstico do estado de fertilidade do solo

No que diz respeito ao P, a avaliação do estado de fertilidade do solo antes da plantação é essencial para evitar limitações nos teores de P disponível/assimilável (P_2O_5), no valor do pH e no teor de MO, antecipando as necessidades de correção através de uma fertilização fosfatada adequada, para o correto estabelecimento da cultura e o seu desenvolvimento posterior.

No caso da fertilização de manutenção, a análise do solo deve ser realizada, de

preferência, no outono ou no inverno, para permitir calcular o **balanço de P** e elaborar o **plano de fertilização** correspondente antes das fertilizações necessárias que antecedem o rebentamento.

Como interpretar os resultados de P no solo

Classe	P_2O_5 - Égner-Riehm (mg/kg)	P_2O_5 - (Olsen) (mg/kg)	Interpretação	Ação recomendada
Muito Baixo	≤25	≤18	Disponibilidade de P muito reduzida	Realizar fertilização fosfatada. Espera-se uma resposta muito elevada da cultura à fertilização
Baixo	26–50	18 –34	Disponibilidade de P reduzida	Realizar fertilização fosfatada. Espera-se uma resposta elevada da cultura à fertilização
Médio	51–100	35–56	Disponibilidade de P satisfatória	Realizar fertilização fosfatada. Espera-se uma boa resposta da cultura à fertilização
Alto	101–200	57–115	Disponibilidade de P elevada	Reduzir ou suspender a fertilização fosfatada, de acordo com a produção esperada
Muito alto	> 200	>115	Disponibilidade de P muito elevada	Reduzir ou suspender a fertilização fosfatada mineral, de acordo com a produção esperada

Adaptado de Calouro et al. (2022). Manual de Fertilização das Culturas, INIAV

Como interpretar os resultados do pH(H_2O)

Classe	pH (H_2O)	Interpretação	Ação recomendada
Muito ácido	≤ 4,5	Toxicidade de Al e Mn; bloqueio de P e Mo	Corrigir com calagem (aplicação de calcário)
Ácido	4,6 - 5,5		
Pouco ácido	5,6 - 6,5	Crescente disponibilidade de P	Sem necessidade de correção da reação do solo
Neutro	6,6 – 7,5	Máxima disponibilidade de P	Sem necessidade de correção da reação do solo
Pouco alcalino	7,6 - 8,5	Início de fixação de P em fosfatos de cálcio	Sem necessidade de correção da reação do solo
Alcalino	8,6 – 9,5	Forte fixação de P;	Corrigir com enxofre ou MO

Muito alcalino	>9,5	deficiências de Fe, Mn e Zn	

Adaptado de Calouro et al., (2022). Manual de Fertilização das Culturas, INIAV

Nota: Em solo com pH entre 6,0 e 6,8 a disponibilidade de P é máxima e a atividade microbiana é mais intensa.

Como interpretar os resultados da M.O.

Classe	**MO (%)**	**Impacto**	**Ação recomendada**
Muito baixo	< 1,0	P orgânico indisponível	Aplicar corretivos orgânicos para aumentar o teor de MO: compostos, estrumes, chorumes em mistura com biomassa estruturante (florestal, matos, palha, serradura, etc.) e P mineral, se necessário
Baixo	1,0-2,0	P orgânico pouco disponível	Aplicar corretivos orgânicos para aumentar o teor de MO e aplicar P mineral, se necessário
Médio	2,0-3,5	Boa atividade microbiana; Média disponibilidade de P orgânico	Aplicar a quantidade de corretivos orgânicos necessários para manter o teor em MO e aplicar P mineral, se necessário
Alto	3,5-5,0	Elevada reserva de P orgânico; a disponibilidade deste nutriente depende da taxa de mineralização do P	Aplicação de menores quantidades de P mineral
Muito alto	>5,0	Reserva importante de P orgânico; a disponibilidade deste nutriente depende da taxa de mineralização do P	Monitorizar os teores de P assimilável porque poderão atingir valores elevados, aumentando o risco de perdas por lixiviação e/ou arrastamento/erosão. Aplicar apenas a quantidade mínima indispensável de P mineral

Adaptado de Calouro et al., (2022). Manual de Fertilização das Culturas, INIAV

Exemplos de combinações de fatores que condicionam ou favorecem a disponibilização do P

A disponibilidade efetiva do P dependerá da combinação dos três fatores: teor de P assimilável, pH e teor de M.O. no solo

- **pH baixo + P_2O_5 alto** → P está presente em grande quantidade, mas bloqueado (indisponível para as plantas porque insolubiliza-se quando o pH é baixo). Realizar calagem antes da fertilização fosfatada;
- **MO baixa + P_2O_5 médio** →Aumentar o teor de M.O. do solo e, se necessário, reforçar a aplicação de P mineral.
- **pH 6,0–6,8 + MO > 2%** → Condições favoráveis para a maior disponibilidade do P para as plantas; eficiência máxima da fertilização.
- **pH > 7,3 + MO < 1 % + P_2O_5 médio ou baixo** → Condições frequentes em solos calcários, com o P bloqueado pelo cálcio proveniente dos carbonatos e reserva de P orgânico escassa. Aumentar a MO e complementar com adubos fosfatados quando se aplicarem outros nutrientes, como azoto ou potássio.

1.2 Proteção e conservação do solo

A proteção e a conservação do solo constituem aspetos fundamentais para garantir a sustentabilidade da viticultura. A adoção de práticas de gestão adequadas permite preservar a estrutura, a fertilidade e a atividade biológica do solo, reduzindo os riscos de erosão, compactação e perda de nutrientes. Além disso, um solo bem conservado favorece a produtividade agrícola, melhora a eficiência na utilização dos recursos e contribui para a resiliência dos sistemas agrícolas face aos efeitos das alterações climáticas.
A mobilização de conservação do solo (nula, mínima ou reduzida) é fundamental para preservar a agregação, manter a atividade biológica do solo e evitar as perdas de P por erosão, por escoamento superficial e/ou por lixiviação.

Tipos de mobilização do solo

Mobilização convencional

A mobilização convencional consiste na mobilização do solo a 25–35 cm de profundidade, com recurso a alfaias como charruas, escarificadores, grades de discos e outras, numa sequência longa de passagens. É indicada em situações de compactação severa do solo, para a incorporação de estrume, palha, sideração e para o controlo de infestantes perenes.

Vantagens

- Melhora a estrutura do solo apenas a curto prazo, facilita a incorporação de MO e fertilizantes e, eventualmente, permite um certo controlo mecânico das infestantes no ano em que é realizada.

Desvantagens

- Maior risco de erosão hídrica e de destruição dos agregados do solo, favorecendo o deslocamento da fauna do solo para maior profundidade e perturbando a atividade de fungos micorrízicos, essenciais para a absorção de P.

Mobilização reduzida ou mínima

A mobilização reduzida (ou mínima) evita o reviramento da leiva, dando prioridade à mobilização vertical (com alfaias de dentes que cortam, mas não misturam camadas de solo), garantindo a manutenção dos resíduos da cultura anterior na camada superficial do solo. Esta modalidade de mobilização do solo pode restringir-se à mínima passagem de alfaias necessárias para a sementeira e/ou plantação.

Vantagens

- Redução da fragmentação dos agregados do solo, o que diminui os riscos de erosão e de perdas de P por escoamento superficial, preservação dos fungos micorrízicos essenciais para a absorção de P e menor perturbação do ciclo natural da biodiversidade e do ciclo do P no solo.

- ***Desvantagens***
- Menor incorporação de P em profundidade, o que pode levar à acumulação de P apenas na camada superficial (0–10 cm), aumentando o risco de perdas do nutriente por erosão hídrica.

Cobertura Vegetal

As coberturas vegetais são sistemas de proteção e conservação do solo. Em geral, utilizam-se coberturas vivas quando se pretende conservar a fertilidade do solo, melhorar as condições de infiltração e drenagem da água, promovendo a entrada de água no solo ou reduzindo o excesso de água, respetivamente. Distinguem-se entre coberturas **semeadas** e **espontâneas**, sendo estas últimas mais persistentes e com maior capacidade de competição com a cultura. Em ambos os casos, as coberturas cortadas ou secas são mantidas no solo para reduzir a insolação e a evaporação direta do solo durante o verão, em zonas com pouca precipitação e maior necessidade de água.

Alguns dos exemplos de **culturas de cobertura** são as misturas de gramíneas com leguminosas, de ciclo curto, espécies floríferas.

Vantagens

- Melhora a estrutura do solo, a porosidade e o arejamento, reduzindo a erosão e o escoamento superficial;
- Aumenta o teor de MO e a reserva de nutrientes;
- Controla o vigor da vinha em zonas de elevado desenvolvimento vegetativo;
- Aumenta a biodiversidade e controla as pragas.

Desvantagens

- Eventual competição pela água e/ou por nutrientes com a cultura instalada, quando as condições possam ser limitantes especialmente em plantações jovens;
- Aumento dos custos de gestão;
- Aumento do risco de danos causados por geadas;
- Poderá também servir de refúgio para organismos não desejados (pragas).

Resumo dos efeitos dos ***Tipos de cobertura*** sobre o P no solo e na água

Tipo de cobertura	Efeito do P no solo	Efeito do P na água
Mobilização convencional	Incorpora o P em profundidade; altera a estratificação do P; melhora o seu contacto com as raízes	Ao provocar maior desagregação do solo superficial, aumenta o risco das perdas de P particulado por erosão eólica ou hídrica do solo, produzindo maior quantidade de sedimentos; poluição da água com P e maior turbidez da água
Mobilização mínima/reduzida	Preserva melhor a agregação do solo; menor perturbação dos organismos do solo que poderão contribuir para aumentar a disponibilização do P assimilável	Reduz a erosão em relação à convencional; risco intermédio de perdas de P particulado.
Cobertura vegetal viva	Eventual concorrência com a cultura e algum risco de redução das reservas minerais de P. Por outro lado, reduz as perdas de	Menor erosão hídrica porque promove a agregação superficial do solo e melhores taxas de infiltração da água no solo; menores perdas de P particulado

	solo e consequentemente, reduz as perdas de P particulado	(P adsorvido), garantindo a qualidade original das massas de água
Cobertura vegetal morta	Redução da perda de solo por erosão hídrica, o que reduz o risco de perdas de P; aumento do teor em MO, estímulo da atividade biológica do solo, o que poderá também aumentar a disponibilidade de P para as plantas	Redução das perdas de P particulado por escoamento superficial, uma vez que reduz a velocidade do escoamento da água, reduzindo o risco de erosão hídrica do solo
Outros (resíduos de poda, palha, etc.)	Aumento da reserva de MO do solo com consequente aumento da atividade biológica do solo favorável à disponibilização do P para absorção pelas plantas.	Promoção de melhor agregação do solo por aumento do teor de MO, maior infiltração da água e nutrientes no solo, contribuindo para uma utilização e aproveitamento mais eficaz dos nutrientes.

1.3 Utilização do solo e gestão de resíduos

Cultura permanente

As culturas permanentes proporcionam mobilizações do solo mais reduzidas e a possibilidade de instalação de culturas de cobertura diversas na entrelinha, contribuido para maior fixação do azoto da atmosfera, como refúgio de organismos auxiliares e polinizadores, regulação das temperaturas e da evaporação direta do solo, fonte permanente de MO e nutrientes (porque as culturas de coberto são cortadas e mantidas na entrelinha). Além disso, são sistemas de maior estabilidade nos quais a rizosfera ocupa um maior volume de solo, podendo albergar grande diversidade de microrganismos que proporcionam a micorrização e fazem a dissolução de P insolubilizado e precipitado, aumentando a eficiência de utilização do P, reduzindo os potenciais riscos de perdas.

Resíduos de poda

Os resíduos de poda são uma fonte de M.O. que pode ser incorporada no solo e cuja origem é a própria parcela de produção, pelo que não implica custos de transporte; no entanto, apresentam a desvantagem de ser necessário triturar as partes lenhosas para as poder incorporar no solo ou espelhar na entrelinha como cobertura morta. Também poderão constituir uma via de propagação de doenças do lenho, pelo que esta prática é desaconselhada sempre que já tenham sido identificadas doenças nalgumas plantas da parcela.

Boas práticas recomendadas para a gestão do solo
Deixar os resíduos do corte da cultura de cobertura à superfície do solo durante o verão e aproveitar para a incorporar no solo quando forem aplicados corretivos ou adubos durante o outono-inverno, como reserva de carbono orgânico e de nutrientes no solo.
Realizar as mobilizações apenas durante o período de preparação do solo para a sementeira de culturas de cobertura ou para a incorporação de corretivos, a fim de evitar a compactação.
Recomenda-se a aplicação de biochar ao solo, de origem vegetal, testado e validado, para aumentar a quantidade de carbono estável e melhorar a estrutura do solo, bem como para aumentar a CTC (capacidade de troca catiónica), contribuindo para a retenção de P e para a redução das suas perdas para as massas de água.
Plantação da cultura permanente de acordo com o *design* ***keyline*** (linha-chave) - o objetivo dos sistemas implantados de acordo com este design é otimizar o aproveitamento da água da chuva, reduzir a erosão e regenerar a fertilidade do solo.

2 Fertilização

2.1 Princípios gerais:

- Análise anual do solo para determinar a disponibilidade de nutrientes e realizar um balanço de nutrientes, incluindo o P, que permite definir as correções e adubações necessárias.
- Balanço de P que tem em consideração as necessidades da cultura de acordo com a produção esperada, a disponibilidade do nutriente no solo e as perdas de P para fora do sistema solo-planta. Pode ser necessário ajustar outros nutrientes e avaliar a reposição de P em anos posteriores;
- Complementar as análises do solo com a informação fornecida pela análise foliar. No caso da vinha, a colheita de folhas deve ser feita durante a floração até ao "bago de ervilha".e no inicio da fase "pintor".

2.2 Época de aplicação dos fertilizantes

O período recomendado para a aplicação de P na vinha é na época de repouso invernal/início da primavera. Da mesma forma, se for aplicado algum fertilizante azotado ou potássico no pré-abrolhamento, o fosfato pode acompanhá-los para equilibrar ou repor os consumos do ano anterior.
Em solos com pH baixo, a aplicação de P deve ser precedida de uma calagem. Desta forma, a

reação do solo torna-se mais favorável à cultura e diminui a precipitação do P pelo alumínio e/ou manganês, tornando-o mais disponível para as plantas.

2.3 Técnica de aplicação dos fertilizantes

Localizada: A aplicação de P na linha é uma boa opção quando a vinha é cultivada em "espaldeira" ou em regime superintensivo.
No entanto, para a vinha em "vaso" recomenda-se a aplicação do adubo na zona de desenvolvimento radicular, em torno de cada planta, que corresponde à superficie de projeção da copa.

A granel: A aplicação é realizada com um espalhador de adubo em toda a superfície da parcela.

2.4 Tipo de fertilizantes fosfatados

Adubos minerais: os superfosfatos apresentam praticamente todo o P em formas facilmente solúveis em água. A forma granulada permite uma maior homogeneidade de distribuição no terreno permitindo minimizar as reações de retenção do nutriente no solo;

Adubos orgânicos e organominerais: a libertação das formas de P orgânico é relativamente lenta e progressiva, pelo que são recomendados para aplicações de fundo;

Corretivos orgânicos: nos planos de fertilização, é indispensável considerar o contributo em P dos diferentes corretivos orgânicos que possam ser aplicados ao solo (por exemplo, estrume, chorume, lamas de depuração, compostos agrícolas, outros).

Fertirrega

Os fertilizantes para fertirrega à base de P caracterizam-se pela sua total solubilidade, sendo compostos por sais combinados com outro nutriente ou por soluções de ácidos fosfóricos com concentração adequada.

Pontos Críticos

- **Dose máxima de azoto de origem orgânica**: Nas Zonas Vulneráveis à contaminação por Nitratos (ZVN) a aplicação máxima de N de origem orgânica permitida é 170 kg N/ha/ano (Diretiva 91/676/CEE do Conselho). Este limite condiciona indiretamente a quantidade de P aplicada, visto que, se tomarmos como referência o estrume de bovino, as 170 unidade de N orgânico correspondem a uma aplicação máxima de aproximadamente 70 kg P_2O_5/ha/ano por via dos corretivos orgânicos.

- **Análise do efluente**: Conhecer a concentração de P total do efluente antes da aplicação; calcular o Balanço de P para se aplicar apenas o estritamente necessário para a obtenção das produções esperadas realisticamente.
- **Época e condições de aplicação**: Evitar aplicações de fertilizantes em solos saturados, com declive maior do que 8% ou antes de precipitação prevista e, para as ZVN garantir a faixa tampão de 10–50 m em relação às linhas de água.

Boas práticas recomendadas na gestão da fertilização
Conhecer a concentração de P total dos fertilizantes e de P assimilável (P_2O_5) no solo, antes da sua aplicação
Calcular o «balanço de P», integrado no plano de fertilização e ajustado aos restantes nutrientes para garantir os objetivos de produção e qualidade previstos
Evitar a aplicação de fertilizantes em solos saturados de água
Evitar aplicações de fertilizantes em parcelas com declive superior a 8%
Evitar a aplicação de fertilizantes antes de precipitação prevista
Nas ZVN, deixar uma faixa de proteção de 10–50 m em relação às linhas de água que deverá estar revestida de vegetação
Os corretivos orgânicos deverão ser aplicados algumas semanas antes dos períodos de maior necessidade em nutrientes por parte da cultura
Realizar anualmente um «Plano de Fertilização» otimizado e adequado ao teor de P assimilável no solo e às necessidades estimadas para os níveis de produção esperados, de acordo com a abordagem implementada no projeto Phos4Cycle

3 Proteção das massas de água

3.1 Gestão da rega

A proteção das massas de água superficiais e subterrâneas é fundamental para garantir a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e a conservação dos ecossistemas aquáticos. No entanto, a água é o agente de difusão do P por lixiviação ou por escoamento superficial, tanto para o P dissolvido na água como para o P particulado, após a insolubilização. Embora o P apresente uma mobilidade limitada no solo, uma acumulação prolongada pode aumentar o risco de poluição difusa. O impacto na qualidade da água manifesta-se através da eutrofização das massas de água superficiais e da contaminação dos aquíferos. Por isso, é fundamental proteger as linhas de água e garantir uma boa gestão da água de rega nas parcelas cultivadas. A gestão eficiente da rega minimiza os riscos de contaminação por P das

massas de água superficiais e/ou subterrâneas.
Uma boa gestão da rega implica evitar o alagamento por excesso de rega, bem como evitar regar nas horas de maior calor. No entanto, é preciso assegurar que o solo se encontra em conforto hídrico para as plantas antes das horas mais quentes do dia.

Tipos de rega

Rega localizada (gota-a-gota, microaspersão e subterrânea)

A rega localizada consiste em sistemas que aplicam a água localizadamente junto da raiz, a baixa pressão, minimizando as perdas por evaporação, escoamento superficial e percolação profunda. A aplicação de água pode ser feita com emissores de gotas (por gotejamento) dispostos junto da planta ou à sua volta (na zona de distribuição radicular), por fita de microaspersão que permite uma linha contínua humedecida, por microaspersores ou por difusores enterrados próximo das raízes, na rega subterrânea. Qualquer uma das modalidades restringe a zona de humedecimento próximo das raízes. Em solos de textura média a pesada os emissores de água poderão ser dispostos mais afastados porque formam um bolbo húmido mais largo. Se os solos forem de textura ligeira, os emissores deverão estar mais próximos e em maior quantidade porque o bolbo húmido desenvolve-se mais em profundidade do que em largura. Estes sistemas permitem melhorar a eficiência na utilização da água e dos fertilizantes através da fertirrega, reduzindo o risco de perdas de P e outros nutrientes para as massas de água superficiais e subterrâneas.

Eficiência de rega: 80-95 %

Vantagens

- Elevada eficiência de rega e menor evaporação direta;
- Maior eficiência do uso da água e fertilizantes na parcela com um menor consumo energético;
- Reduzido potencial de lixiviação e de escoamento superficial da água, menor risco de arrastamento do P;
- Fácil adaptação à fertirrega;
- Reduz a incidência de infestantes nas entrelinhas.

Desvantagens

- Custo de instalação elevado e instalação complexa, especialmente para os sistemas totalmente enterrados;
- Necessidade de manutenção regular para evitar entupimentos dos emissores, especialmente no caso de águas ricas em carbonatos e bicarbonatos.

- Necessidade de manter a pressão mínima de funcionamento e compensação de caudais, ao longo da rampa, em terrenos acidentados.

Sistema de rega	Eficiência (%)	Risco de perdas de P
Localizada	Elevado a muito elevado (80–95 %)	Baixa
Localizada com Fertirrega	Elevado a muito elevado (80–95 %)	Média

3.2 Outros fatores

O risco potencial de contaminação das massas de água por P poderá aumentar exponencialmente quando vários dos fatores referidos nas secções anteriores se conjugam. A tabela que se segue ajuda a fazer um rápido diagnóstico no qual se pode identificar a presença ou a ocorrência de um conjunto de fatores de risco. De acordo com a quantidade de fatores de risco identificados e conjugados, o nível de risco para a contaminação por P poderá ser classificado de ***reduzido*** a ***muito elevado***.

Fatores de risco	Fatores identificados	Risco de poluição
Solo de textura grosseira/ligeira ou fina/pesada (arenoso ou argiloso/limo-argiloso)	X	***Elevado***
MO menor ou igual a 2%	X	
pH menor do que 6		
P_2O_5 (Égner-Riehm-AL) maior ou igual a 200 ppm ou **P_2O_5** (Olsen) maior ou igual a 115 ppm	X	
Toalha freática superficial: profundidade igual ou menor a 2 m durante a época estival (época seca)		
Declive da parcela maior ou igual a 8%		
Rega por alagamento ou identificado escorrimento superficial da água de rega	X	
Solo compactado: macroporosidade menor do que 10%		
Cobertura do solo: nula ou fraca		
Clima de elevada precipitação: com eventos frequentes de chuva intensa e concentrada		

Escala do nível de "Risco de poluição por fósforo"	
Reduzido: até **2** fatores	***Médio:*** **3** fatores
Elevado: **4** fatores	***Muito*** Maior que **5** fatores

	elevado:

Nota: Tabela utilizada a título de exemplo, devendo ser adaptada à realidade de cada sistema para autodiagnóstico do risco de poluição das massas de água com P.

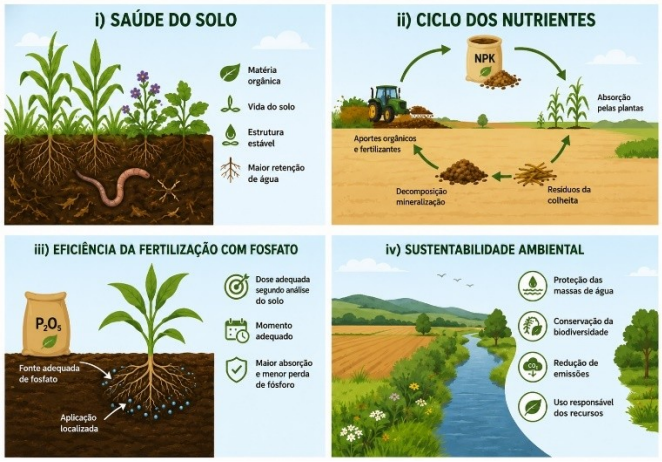
Boas Práticas para a Proteção das Massas de Água
Assegurar que a água de rega é aplicada na parcela com elevada EA e elevada UD
Garantir que a taxa de infiltração da água de rega no solo é superior à taxa de aplicação da água
O método de rega, o equipamento escolhido, bem como a programação e a condução da rega, devem ser adequados às condições da parcela a beneficiar (topografia, área da parcela, tipo de solo, clima da região e cultura)
Contemplar zonas tampão revestidas de vegetação, a contornar as linhas de água, para evitar a descarga de fosfatos nas massas de água superficial
Aproveitar as possibilidades oferecidas pela fertirrega para fracionar a aplicação dos fertilizantes ao longo do ciclo da cultura, ajustando as soluções ao estado de fertilidade do solo e às necessidades sazonais da cultura
Utilizar água de baixa salinidade (de qualidade considerada satisfatória para a rega)

Ficha Técnica: Gestão do fósforo na sucessão de culturas arvenses

A gestão do fósforo (P) no solo é essencial para a produtividade das culturas arvenses e para prevenir a contaminação dos recursos hídricos. O P desempenha um papel fundamental no desenvolvimento das raízes, na fotossíntese e no vigor vegetativo e produtivo. As práticas descritas nesta ficha aplicam-se às culturas arvenses em sistemas de sucessão de culturas.

1 Gestão do Fósforo no Solo

As boas práticas na gestão do fósforo no solo são positivas para:



Aspetos importantes a considerar na gestão do P na sucessão de culturas arvenses

- Avaliação do estado da fertilidade do solo e necessidades de correção;
- Proteção e conservação do solo;
- Utilização do solo (sucessão de culturas, consociação, rotação de culturas, culturas permanentes, culturas de cobertura), gestão de resíduos e da intensidade de mobilização do solo;
- Tipo de fertilizantes, doses, épocas e técnicas de aplicação;
- Condições climáticas.

1.1 Diagnóstico do estado de fertilidade do solo

A avaliação do estado de fertilidade do solo antes da sementeira é fundamental na sucessão de culturas arvenses, uma vez que permite conhecer a disponibilidade de nutrientes e adaptar as práticas de fertilização às necessidades de cada cultura. Um acompanhamento periódico dos indicadores de fertilidade (pH, MO, macro e

micronutrientes) ajuda a otimizar a utilização dos fatores de produção, a manter a produtividade do sistema e a prevenir desequilíbrios nutricionais. Além disso, contribui para a conservação da qualidade do solo a longo prazo, favorecendo uma gestão sustentável dos recursos e reduzindo o risco de contaminação das massas de água associado a uma fertilização inadequada. A análise dos solos deve ser realizada antes da sementeira, em momento oportuno para a realização do «balanço em P», necessário à realização do Plano de Fertilização.
A determinação da textura do solo também é importante para se perceber o nível de suscetibilidade para as perdas de P. Os solos de textura grosseira/ligeira, pobres em MO, são mais facilmente erodidos do que os solos de textura fina/pesada e, sendo de elevada permeabilidade para a água, serão mais suscetíveis a perdas de P por lixiviação. Portanto, solos de textura grosseira tenderão a ser menos férteis em P.

Como interpretar os resultados de P no solo

Classe	**P_2O_5 - Égner-Riehm (mg/kg)**	**P_2O_5 - (Olsen) (mg/kg)**	**Interpretação**	**Ação recomendada**
Muito Baixo	≤25	≤18	Disponibilidade de P muito reduzida	Realizar fertilização fosfatada. Espera-se uma resposta muito elevada da cultura à fertilização
Baixo	26–50	18 –34	Disponibilidade de P reduzida	Realizar fertilização fosfatada. Espera-se uma resposta elevada da cultura à fertilização
Médio	51–100	35–56	Disponibilidade de P satisfatória	Realizar fertilização fosfatada. Espera-se uma boa resposta da cultura à fertilização
Alto	101–200	57–115	Disponibilidade de P elevada	Reduzir ou suspender a fertilização fosfatada, de acordo com a produção esperada
Muito alto	> 200	>115	Disponibilidade de P muito elevada	Reduzir ou suspender a fertilização fosfatada mineral, de acordo com a produção esperada

Adaptado de Calouro et al. (2022). Manual de Fertilização das Culturas, INIAV

Como interpretar os resultados do pH(H_2O)

Classe	pH (H_2O)	Interpretação	Ação recomendada
Muito ácido	≤ 4,5	Toxicidade de Al e Mn; bloqueio de P e Mo	Corrigir com calagem (aplicação de calcário)
Ácido	4,6 - 5,5		
Pouco ácido	5,6 - 6,5	Crescente disponibilidade de P	Sem necessidade de correção da reação do solo
Neutro	6,6 – 7,5	Máxima disponibilidade de P	Sem necessidade de correção da reação do solo
Pouco alcalino	7,6 - 8,5	Início de fixação de P em fosfatos de cálcio	Sem necessidade de correção da reação do solo
Alcalino	8,6 – 9,5	Forte fixação de P; deficiências de Fe, Mn, Zn	Corrigir com enxofre ou MO
Muito alcalino	>9,5		

Adaptado de Calouro *et al*., (2022). Manual de Fertilização das Culturas, INIAV

Nota: Em solos com pH entre 6,0 e 6,8 a disponibilidade de P é máxima e a atividade microbiana é mais intensa.

Como interpretar os resultados da M.O.

Classe	MO (%)	Impacto	Ação recomendada
Muito baixo	< 1,0	P orgânico indisponível	Aplicar corretivos orgânicos para aumentar o teor de MO, compostos, estrumes, chorumes em mistura com biomassa estruturante (florestal, matos, palha, serradura, etc.) e P mineral, se necessário
Baixo	1,0-2,0	P orgânico pouco disponível	Aplicar corretivos orgânicos para aumentar o teor de MO e aplicar P mineral, se necessário
Médio	2,0-3,5	Boa atividade microbiana; Média disponibilidade de P orgânico	Aplicar a quantidade de corretivos orgânicos necessários para manter o teor em MO e aplicar P mineral, se necessário
Alto	3,5-5,0	Elevada reserva de P orgânico; a disponibilidade deste nutriente depende da taxa de	Aplicação de menores quantidades de P mineral

		mineralização do P	
Muito alto	>5,0	Reserva importante de P orgânico; a disponibilidade deste nutriente depende da taxa de mineralização do P	Monitorizar os teores de P assimilável porque poderão atingir valores elevados, aumentando o risco de perdas por lixiviação e/ou arrastamento/erosão. Aplicar apenas a quantidade mínima indispensável de P mineral.

Adaptado de Calouro et al. (2022). Manual de Fertilização das Culturas, INIAV

Exemplos de combinações de fatores que condicionam ou favorecem a disponibilização do P

A disponibilidade efetiva do P dependerá da combinação dos três fatores: teor de P assimilável, pH e teor de MO no solo

- **pH baixo + P_2O_5 alto** → P está presente em grande quantidade, mas bloqueado (indisponível para as plantas porque insolubiliza-se quando o pH é baixo). Realizar calagem antes da fertilização fosfatada;
- **MO baixa + P_2O_5 médio** →Aumentar o teor de M.O. do solo e, se necessário, reforçar a aplicação de P mineral.
- **pH 6,0–6,8 + MO > 2%** → Condições favoráveis para a maior disponibilidade do P para as plantas; eficiência máxima da fertilização.
- **pH > 7,3 + MO < 1 % + P_2O_5 médio ou baixo** → Condições frequentes em solos calcários, com o P bloqueado pelo cálcio proveniente dos carbonatos e reserva de P orgânico escassa. Aumentar a MO e complementar com adubos fosfatados quando se aplicarem outros nutrientes, como azoto ou potássio.

1.2 Proteção e conservação do solo

A proteção e a conservação do solo constituem aspetos fundamentais para garantir a sustentabilidade dos sistemas de culturas arvenses. A adoção de práticas de gestão adequadas permite preservar a estrutura, a fertilidade e a atividade biológica do solo, reduzindo os riscos de erosão, compactação e perda de nutrientes. Além disso, um solo bem conservado favorece a produtividade agrícola, melhora a eficiência na utilização dos recursos e contribui para a resiliência dos sistemas agrícolas face aos efeitos das alterações climáticas.
A mobilização de conservação do solo (nula, mínima ou reduzida) é fundamental para

preservar a agregação, manter a atividade biológica do solo e evitar as perdas de P por erosão, por escoamento superficial e/ou por lixiviação.

Tipos de mobilização do solo

Mobilização convencional

É um sistema de gestão baseado na mobilização do solo a 25-35 cm de profundidade e com reviramento da terra, seguida de trabalhos de preparação da cama para a sementeira. Favorece o controlo mecânico das infestantes, a incorporação de resíduos e a preparação homogénea do terreno. No entanto, a sua aplicação contínua pode aumentar o risco de erosão, compactação em profundidade, perda de MO e alteração da estrutura e da atividade biológica do solo.

Vantagens

- Facilita a preparação da cama de sementeira, uniformizando a superfície do terreno;
- Permite um bom controlo mecânico imediato das infestantes, mas não reduz a incidência das mesmas;
- Incorpora diretamente resíduos e fertilizantes no solo;
- Favorece o aquecimento inicial do solo.

Desvantagens

- Risco de fragmentação excessiva do solo por destruição dos agregados quando o teor em MO e/ou argila é baixo;
- Maior risco de erosão e perda de solo;
- Redução do teor de matéria orgânica porque intensifica a mineralização;
- Maior consumo de combustível e custos operacionais;
- Possível compactação de camadas profundas, formação do “calo de lavoura”;
- Alteração e eventual redução da biota do solo, com particular prejuízo para as micorrizas que são essenciais para a assimilação do P pelas plantas.

Mobilização reduzida ou mínima

Este tipo de mobilização consiste em diminuir o número, a profundidade ou a intensidade das operações de mobilização em relação à mobilização convencional. É um sistema que procura manter condições adequadas para o estabelecimento da cultura, minimizando a alteração do solo. Por isso, evita o reviramento da leiva, dando prioridade à mobilização vertical (com alfaias de dentes que cortam, mas não misturam camadas de solo), garantindo a manutenção dos resíduos da cultura anterior na camada superficial do solo. Esta modalidade de mobilização do solo pode restringir-se à mínima passagem de alfaias necessárias para a instalação da cultura, contribuindo para reduzir os custos de produção,

conservar a humidade e biota do solo, diminuir o risco de erosão e favorecer a acumulação de MO e a estabilidade estrutural do solo.

Vantagens

- Reduz os custos das mobilizações e o consumo de combustível;
- Conserva a humidade, a estrutura e a biota do solo. Logo, preserva também os fungos micorrízicos;
- Reduz a erosão. Logo, reduz também a perda de nutrientes, nomeadamente do P e perdas de P;
- Favorece a acumulação da matéria orgânica, que é essencial à boa agregação e manutenção da biodiversidade do solo.

Desvantagens

- Pode exigir um maior uso de herbicidas para o controlo de infestantes;
- Possível aumento da compactação superficial do solo quando o coberto vegetal é fraco ou nulo;
- Necessidade de alfaias adaptadas e especialização do operador de máquinas.

Mobilização em faixas

Esta técnica consiste em mobilizar apenas a faixa/linha em que será instalada a cultura. Permite reduzir o número, a profundidade ou a intensidade das operações de mobilização em relação à mobilização convencional, mantendo no solo grande parte dos resíduos da cultura anterior. Visa manter condições adequadas para o estabelecimento da cultura, minimizando a alteração do solo. Contribui para reduzir os custos de produção, conservar a humidade, diminuir o risco de erosão e favorecer a acumulação de MO e a estabilidade estrutural do solo.

Vantagens

- Combina a conservação do solo com a criação de boas condições para a sementeira;
- Reduz a erosão, as perdas de água e de nutrientes como o P;
- Preserva a estrutura e biota do solo;
- Permite a aplicação localizada de fertilizantes;
- Mantém uma elevada cobertura vegetal à superfície, favorecendo a acumulação de matéria orgânica.

Desvantagens

- Requer maquinaria específica e maior precisão nas operações. Logo, os operadores de máquinas deverão ter formação especializada;
- Manuseamento e manutenção da maquinaria mais complexo;

- Pode ser limitada em solos muito húmidos ou com resíduos abundantes.

Mobilização nula ou sementeira direta

Trata-se de um sistema em que não são realizados trabalhos de preparação do solo antes da sementeira, mantendo os resíduos da cultura anterior à superfície, como cobertura morta. As sementes são colocadas diretamente em covas ou ranhuras na linha, sobre os resíduos da cultura anterior, à superfície do solo. Esta prática preserva totalmente a estrutura do solo, evita a erosão, confere maior conforto térmico e hídrico, reduz a incidência de infestantes, favorece a acumulação de MO e melhora a atividade biológica. Além disso, contribui para aumentar a capacidade de retenção de água e a resiliência do sistema agrícola face a condições climáticas adversas.

Vantagens

- Máxima proteção contra a erosão e redução da evaporação direta;
- Aumenta o teor de M.O. e a atividade biológica, essencial à micorrização das raízes para melhor assimilação do P;
- A manutenção da cobertura morta aumenta a infiltração e o armazenamento da água no solo, reduz substancialmente o escoamento superficial, minimizando as perdas de P para as linhas de água;
- Reduz os custos com as mobilizações;
- Reduz as emissões de GEE associadas à utilização de maquinaria agrícola na mobilização dos solos.

Desvantagens

- Maior dependência do controlo químico das infestantes;
- Pode atrasar o aquecimento do solo na primavera;
- Requer experiência técnica e maquinaria adequada;
- Possível estratificação de nutrientes à superfície do solo

Mobilização reduzida ou mínima

Mobilização em faixas

Mobilização nula ou sementeira direta

Resumo dos efeitos dos ***Tipos de mobilização*** sobre o P no solo e na água

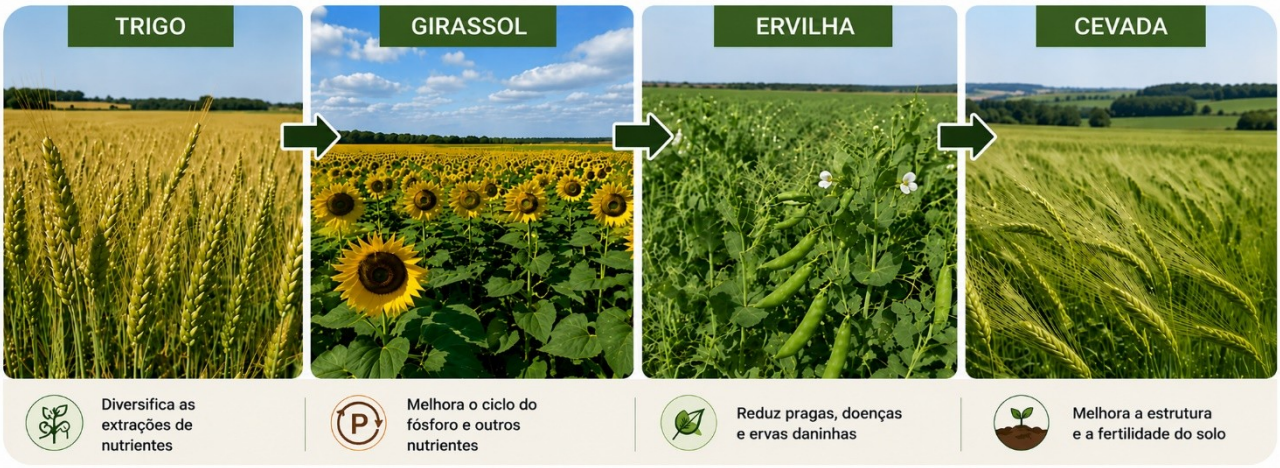
Tipo de mobilização	Efeito do P no solo	Efeito do P na água
Mobilização convencional	Favorece a mistura e a incorporação do P no perfil do solo, reduzindo a sua acumulação à superfície. No entanto, pode acelerar a perda de MO	Aumenta o risco de transporte de P particulado devido à erosão e ao escoamento superficial, especialmente em parcelas com inclinação ou com pouca cobertura vegetal. Produz maior quantidade de sedimentos, aumentando a turbidez da água superficial
Mobilização mínima/reduzida	Tende a concentrar o P nos primeiros centímetros do solo devido à menor mistura dos horizontes, favorecendo a sua disponibilidade para as raízes superficiais. Preserva a agregação do solo e reduz a perturbação dos organismos do solo.	Reduz as perdas de P associadas à erosão, mantendo uma maior cobertura do solo, embora possa aumentar o risco de perdas de P dissolvido caso exista acumulação superficial.
Mobilização em faixas	Permite uma distribuição localizada do P na linha de cultivo, melhorando o seu aproveitamento pelas plantas e mantendo a estrutura do solo nas zonas não trabalhadas.	Reduz significativamente as perdas de P por erosão, ao conservar a cobertura vegetal em grande parte da superfície, diminuindo o transporte de sedimentos para as massas de água.
Mobilização nula	Favorece a acumulação de P na camada superficial do solo; melhora a estabilidade estrutural e a atividade biológica, contribuindo para uma maior eficiência na reciclagem de nutrientes.	Minimiza as perdas de P porque promove a agregação superficial do solo e a infiltração da água; menores perdas de P particulado (P adsorvido), preservando a qualidade original das massas de água

1.3 Utilização do solo e gestão de resíduos

Rotação de culturas

A rotação de culturas constitui uma prática fundamental para a gestão sustentável do solo e dos resíduos agrícolas. A alternância de espécies, com diferentes necessidades nutricionais e diferentes sistemas radiculares, favorece uma utilização mais eficiente dos

nutrientes, incluindo o P, melhorando o seu aproveitamento e reduzindo o risco de acumulação ou esgotamento no solo. Além disso, a diversidade de resíduos vegetais protege a superfície do solo durante a maior parte do ano e contribui para a reciclagem de nutrientes, favorecendo a reincorporação do P no sistema. Por exemplo, a rotação **trigo – cevada – girassol** ajuda a manter a fertilidade do solo, a reduzir as perdas de nutrientes e a melhorar a sustentabilidade dos sistemas de culturas arvenses.



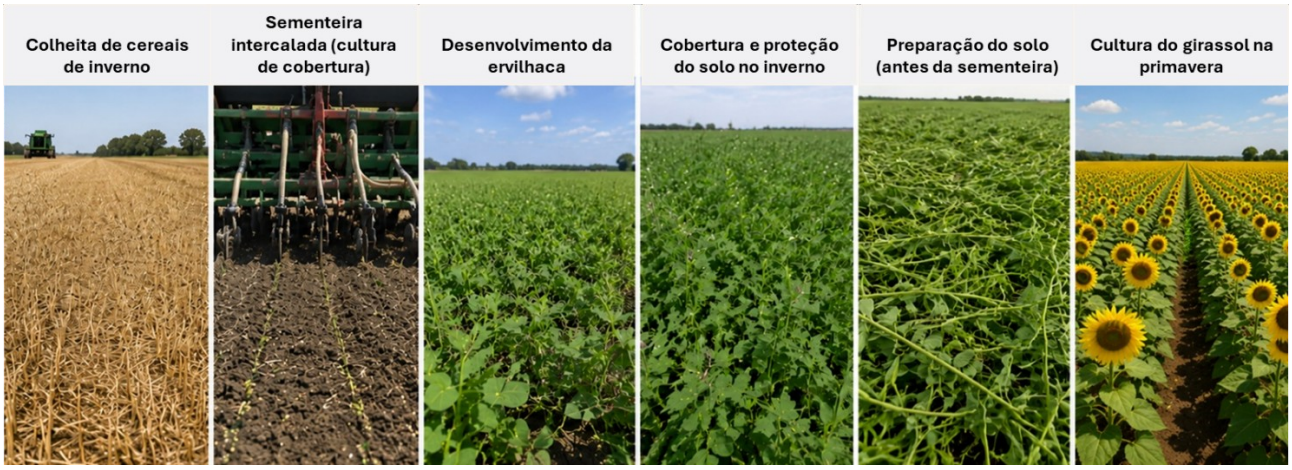
Consociação de culturas

As culturas consociadas consistem no cultivo simultâneo de duas ou mais espécies numa mesma parcela para melhorar a eficiência na utilização do solo e no aproveitando de forma complementar dos recursos disponíveis, como água, luz e nutrientes. Em sistemas herbáceos, a combinação de espécies com diferentes arquiteturas radiculares e foliares favorece uma exploração mais completa do perfil do solo e da radiação solar, melhorando a mobilização e a absorção de nutrientes como o P. Além disso, contribuem para aumentar a biodiversidade, reduzir a pressão das infestantes e melhorar a cobertura e a proteção do solo contra a erosão. A consociação de culturas deve privilegiar a inclusão de leguminosas, que além de captarem o azoto atmosférico, solubilizam formas de P fixadas no solo pela sua atividade rizosférica, reduzindo a necessidade de fertilização mineral no ciclo seguinte. Como exemplo, indica-se a associação de uma leguminosa com um cereal (soja/cevada, alfafa/aveia, entre outros).

Culturas de cobertura

As culturas de cobertura desempenham um papel fundamental na proteção e conservação do solo em sistemas de culturas arvenses. A sua implantação entre duas culturas principais ou durante períodos de pousio, ajuda a reduzir a erosão, a melhorar a estrutura do solo, a aumentar o teor de M.O. e a favorecer a reciclagem de nutrientes. Além disso, contribuem para reduzir as perdas de nutrientes por escoamento superficial, como é o caso do P, e por lixiviação, melhorando a sustentabilidade do sistema produtivo. As culturas de cobertura deverão ter raizame abundante, formando rapidamente um coberto

vegetal bem desenvolvido, de modo a garantir a proteção do solo no período de maior risco de erosão hídrica (outono-inverno). Os resíduos destas culturas deverão permanecer no solo após o corte, à sua superfície ou ligeiramente incorporados. Alguns exemplos de culturas típicas de cobertura são o nabo forrageiro, centeio, aveia, fava e ervilhaca.



Boas práticas recomendadas para a gestão do solo
Privilegiar a rotação de culturas que incluam espécies com diferentes necessidades nutricionais e sistemas radiculares e, sempre que possível, consociadas na parcela, para melhorar a aproveitamento dos nutrientes e favorecer a estrutura e a fertilidade do solo, prevenindo as perdas do P assimilável residual no solo, deixado pela cultura precedente.
Instalar culturas de cobertura para proteger o solo contra a erosão e favorecer a reciclagem de nutrientes.
Reduzir a intensidade das mobilizações do solo através da mobilização mínima, em faixas ou da sementeira direta, minimizando a degradação estrutural do solo.
Realizar mobilizações do solo apenas durante o período de sazão para evitar a compactação e degradação da estrutura do solo.
Deixar o restolho das culturas que se sucedem na parcela, à superfície ou ligeiramente incorporado no solo, para aumentar o teor de MO do solo, como fonte de nutrientes para a biodiversidade do solo e para a cultura a instalar na sucessão e para reter a humidade;.
Aplicar fertilização variável com base em análises do solo e ferramentas de agricultura de precisão, ajustando as doses de nutrientes, como o P, às necessidades específicas de cada zona da parcela, método testado e validado no âmbito do projeto Phos4Cycle.
Incorporar o biochar como corretivo do solo para melhorar a retenção de nutrientes, aumentar a estabilidade da M.O. e favorecer a disponibilidade de P e outros elementos essenciais, também testado e validado no âmbito do projeto Phos4Cycle.
Gerir adequadamente a fertilização com fosfatos, evitando aplicações excessivas que possam aumentar o risco de poluição difusa.

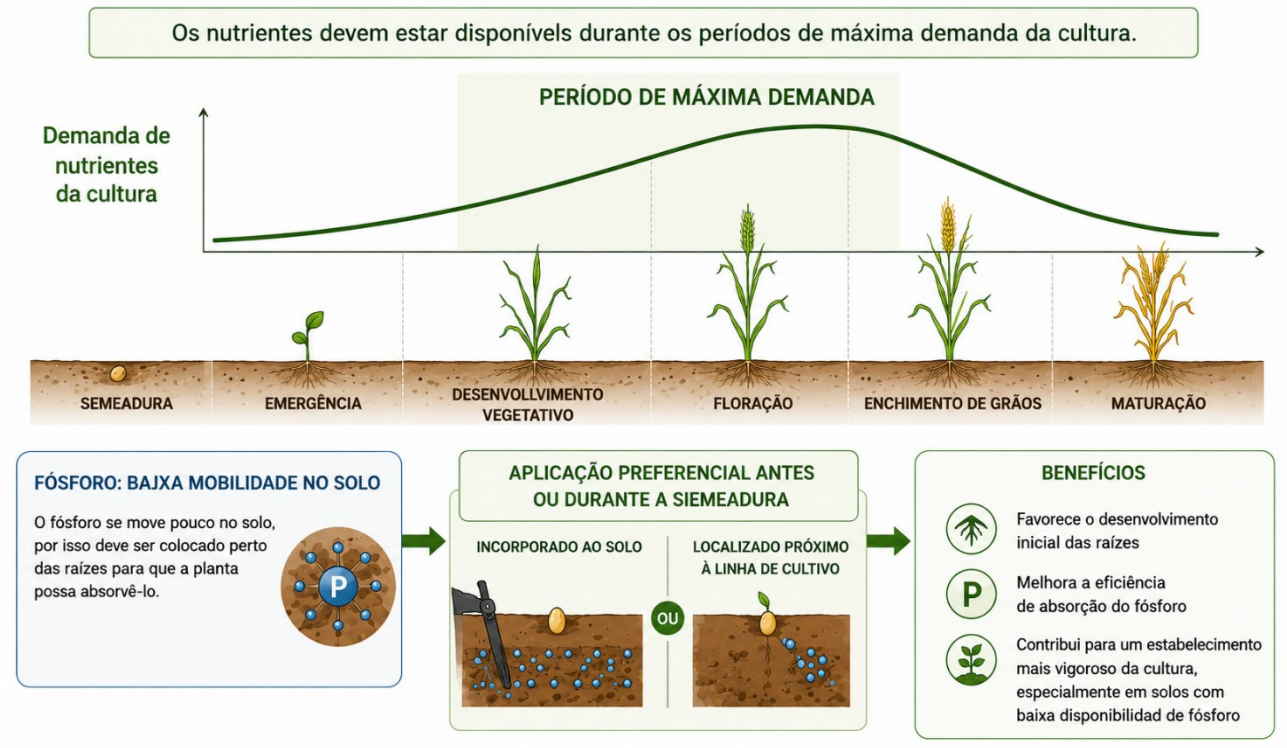
2 Fertilização

2.1 -Princípios gerais:

- Adequar a fertilização às necessidades da cultura para a produção esperada e de acordo com a classe de fertilidade do solo em P, recorrendo a análises do solo e a estimativas de extração para ajustar as doses de P a aplicar;
- Aplicar os nutrientes no momento e na forma mais adequados para maximizar a eficiência da sua utilização, favorecendo a disponibilidade de P durante as fases de maior procura da cultura e minimizando as perdas para o ambiente.
- Proceder ao balanço de P que tem em consideração as necessidades da cultura de acordo com a produção esperada, a disponibilidade do nutriente no solo e as perdas de P para fora do sistema solo-planta. No caso de teores médios a elevados de P no solo, repor apenas a quantidade de P exportada pela cultura.
- Frequentemente, a análise de solo é acompanhada de recomendações de fertilização que têm em conta os aspetos acima referidos.

2.2 - Época de aplicação dos fertilizantes

Na sucessão das culturas arvenses, a fertilização deve ser realizada de forma que os nutrientes estejam disponíveis durante os períodos de maior necessidade da cultura. No caso do P, devido à sua baixa mobilidade no solo, a aplicação deve ser efetuada antes ou durante a sementeira, incorporando-o no solo ou colocando-o junto à linha de cultivo para favorecer o desenvolvimento inicial das raízes. Esta estratégia melhora a eficiência de absorção do P e contribui para um estabelecimento mais vigoroso da cultura, especialmente em solos com baixa disponibilidade deste nutriente.



2.3 - Técnica de aplicação dos fertilizantes

Localizada: A aplicação de P na linha é a mais recomendada, pois concentra o nutriente próximo das raízes, o que é particularmente importante no caso dos solos ácidos ou alcalinos que tendem a fixar/insolubilizar o P, ou quando o solo não é mobilizado;

A lanço: A aplicação de P a lanço, com posterior incorporação, pode ser usada, por exemplo, quando é necessário fornecer quantidades elevadas de P ao solo;

Fertirrega: Quando a cultura é regada pode-se fazer proveito desta condição para dissolver os fertilizantes fosfatados na água de rega e assim distribuí-los mais uniformemente com a vantagem de uma assimilação mais rápida pela cultura. É facilmente implementada com sistemas de rega localizada e em sistemas de aspersão.

- Na aplicação à superfície (a lanço), o fertilizante é distribuído uniformemente sobre a superfície do solo. Pode reduzir a eficiência de utilização do P se não for posteriormente incorporado no solo.
- Na aplicação localizada, o fertilizante é depositado junto à linha de sementeira ou às raízes da cultura. É recomendada para o P, uma vez que melhora a sua disponibilidade e absorção durante as primeiras fases de desenvolvimento da cultura.
- Quando incorporado no solo, o fertilizante mistura-se com o solo através das mobilizações efetuadas antes ou durante a sementeira, favorecendo o contacto com as raízes e reduzindo as perdas por escoamento superficial.

- A fertirrega, que consiste na aplicação de nutrientes dissolvidos na água de rega, é normalmente utilizada em determinados sistemas de culturas arvenses regadas.

2.4 - Tipo de fertilizantes fosfatados

Adubos minerais: os superfosfatos apresentam praticamente todo o P em formas facilmente solúveis em água. A forma granulada permite uma maior homogeneidade de distribuição no terreno permitindo minimizar as reações de retenção do nutriente no solo;

Adubos orgânicos e organominerais: a libertação das formas de P orgânico é relativamente lenta e progressiva, pelo que são recomendadas para aplicações em fundo;

Corretivos orgânicos: nos planos de fertilização é indispensável considerar o contributo em P dos diferentes corretivos orgânicos que possam ser aplicados ao solo (ex. estrume, chorume, lamas de depuração, compostos agrícolas, outros).

Nas culturas arvenses utilizam-se principalmente os adubos minerais, que fornecem nutrientes como azoto, P e potássio em formas rapidamente disponíveis.
Também são utilizados adubos orgânicos ou adubos organominerais, combinando estes últimos com fontes minerais e orgânicas para melhorar a eficiência da fertilização.
Além disso, podem ser utilizados corretivos orgânicos, como estrume ou composto estabilizado, e biochar, destinados a melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, favorecendo a retenção de água, nutrientes e a atividade microbiana.

Pontos Críticos

- **Dose máxima de azoto de origem orgânica**: Nas Zonas Vulneráveis à contaminação por Nitratos (ZVN) a aplicação máxima de N de origem orgânica permitida é 170 kg N/ha/ano (Diretiva 91/676/CEE do Conselho). Este limite condiciona indiretamente a quantidade de P aplicada, visto que, se tomarmos como referência o estrume de bovino, as 170 unidade de N orgânico correspondem a uma aplicação máxima de aproximadamente 70 kg P_2O_5/ha/ano por via dos corretivos orgânicos.
- **Análise do efluente**: Conhecer a concentração de P total do efluente antes da aplicação; calcular o Balanço de P para se aplicar apenas o estritamente necessário para a obtenção das produções esperadas realisticamente.
- **Época e condições de aplicação**: Evitar aplicações de fertilizantes em solos saturados, com declive maior do que 8% ou antes de precipitação prevista e, para as ZVN garantir a faixa tampão de 10–50 m em relação às linhas de água.

Boas práticas recomendadas na gestão da fertilização
Realizar análises periódicas do solo para ajustar as aplicações de nutrientes às necessidades reais do sistema de cultivo.

Planear a fertilização tendo em conta o balanço de nutrientes de toda a rotação de culturas, especialmente as entradas e saídas de P.
Combinar fertilizantes minerais e orgânicos para otimizar o fornecimento de nutrientes e manter a fertilidade do solo.
Avaliar a utilização de biochar como corretivo para melhorar a retenção de nutrientes, aumentar a eficiência do P e promover a saúde do solo, de acordo com a abordagem aplicada no projeto Phos4Cycle.
Implementar a fertilização variável através de ferramentas de agricultura de precisão para adaptar as doses à variabilidade espacial da parcela, de acordo com a abordagem aplicada no projeto Phos4Cycle.
Ajustar as aplicações de fertilizantes orgânicos aos limites estabelecidos pela legislação em vigor, especialmente em zonas vulneráveis à poluição por nitratos.
Manter registos de fertilização e produção para avaliar a eficiência da utilização de nutrientes e facilitar a tomada de decisões.
Integrar a fertilização com outras práticas de conservação do solo, como rotações de culturas e culturas de cobertura, para melhorar a reciclagem de nutrientes.

3 Proteção das massas de água

3.1 - Gestão da rega

A proteção das massas de água superficiais e subterrâneas é fundamental para garantir a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e a conservação dos ecossistemas aquáticos. No entanto, a água é o agente de difusão do P por lixiviação ou por escoamento superficial, tanto para o P dissolvido na água como para o P particulado, após a insolubilização. Embora o P apresente uma mobilidade limitada no solo, uma acumulação prolongada pode aumentar o risco de poluição difusa. O impacto na qualidade da água manifesta-se através da eutrofização das massas de água superficiais e da contaminação dos aquíferos. Por isso, é fundamental proteger as linhas de água e garantir uma boa gestão da água de rega nas parcelas cultivadas. A gestão eficiente da rega minimiza os riscos de contaminação por P das massas de água superficiais e/ou subterrâneas.
Uma boa gestão da rega implica evitar o alagamento por excesso de rega, bem como evitar regar nas horas de maior calor. No entanto, é preciso assegurar que o solo se encontra em pleno conforto hídrico para as plantas antes das horas mais quentes do dia.

Tipos de rega

Rega localizada (gota-a-gota, microaspersão e subterrânea)

A rega localizada consiste em sistemas que aplicam a água localizadamente junto da raiz, a

baixa pressão, minimizando as perdas por evaporação, escoamento superficial e percolação profunda. A aplicação de água pode ser feita com emissores de gotas (por gotejamento) dispostos junto da planta ou à sua volta (na zona de distribuição radicular), por fita de microaspersão que permite uma linha contínua humedecida, por microaspersores ou por difusores enterrados próximo das raízes, na rega subterrânea. Qualquer uma das modalidades restringe a zona de humedecimento próximo das raízes. Em solos de textura média a pesada os emissores de água poderão ser dispostos mais afastados porque formam um bolbo húmido mais largo. Se os solos forem de textura ligeira, os emissores deverão estar mais próximos e em maior quantidade porque o bolbo húmido desenvolve-se mais em profundidade do que em largura. Estes sistemas permitem melhorar a eficiência na utilização da água e dos fertilizantes através da fertirrega, reduzindo o risco de perdas de P e outros nutrientes para as massas de água superficiais e subterrâneas. Embora a sua utilização seja mais frequente em culturas lenhosas e hortícolas, a sua utilização tem vindo a aumentar para culturas arvenses de elevado valor ou em condições de escassez hídrica, como o milho ou algumas rotações de rega intensiva.

Eficiência de rega: 80–95 %

Vantagens

- Elevada eficiência de rega e menor evaporação direta;
- Maior eficiência do uso da água e fertilizantes na parcela com um menor consumo energético;
- Reduzido potencial de lixiviação e de escoamento superficial da água, menor risco de arrastamento do P;
- Fácil adaptação à fertirrega;
- Reduz a incidência de infestantes na entrelinha.

Desvantagens

- Maior custo de instalação e manutenção, especialmente para os sistemas totalmente enterrados;
- Requer sistemas de filtragem e controlo;
- Necessidade de manutenção regular para evitar entupimentos dos emissores, especialmente no caso de águas ricas em carbonatos e bicarbonatos;
- Requer manutenção de pressão mínima de funcionamento e compensação de caudais, ao longo da rampa, em terrenos acidentados;
- Menor adaptação a algumas explorações extensivas de culturas arvenses.

Rega por aspersão

Os sistemas de rega por aspersão são amplamente utilizados para o cultivo de espécies arvenses de regadio, como milho, luzerna, cereais de inverno, beterraba ou culturas forrageiras. Estes sistemas distribuem a água sob a forma de chuva através de aspersores fixos ou móveis, incluindo modalidades como a de cobertura total (aspersores montados em rampas), as rampas rotativas (conhecidas por pivôs centrais) e os equipamentos de avanço frontal (rampas lineares frontais e canhões de rega). A rega por aspersão no milho e na generalidade das arvenses de regadio, terá de conferir cobertura completa da área regada para maior uniformidade da produção na parcela. Ou seja, tanto a rega realizada por aspersores montados em rampas, como a rega realizada por uma rampa rotativa ou linear/frontal ou ainda a rega realizada por um canhão de rega com desenrolador, será necessário assegurar a mesma dotação de rega em todos os pontos da parcela para que o sistema tenha uma elevada Eficiência de Aplicação (EA) e elevada Uniformidade de Distribuição (UD), garantido uma frente de água infiltrada uniforme, com progressão descendente no interior do solo. Esta rega é bastante comum em culturas de cereais anuais e/ou hortícolas, funcionando com elevada pressão e caudal. São culturas mais baixas, anuais e em linha, características que facilitam a adequação dos sistemas de rega por aspersão de cobertura completa. A sobreposição perfeita para a dotação desejada é conseguida instalando-se os aspersores nas rampas, com afastamento igual ao do seu alcance. Por outro lado, uma gestão inadequada ou projetos mal dimensionados destes sistemas de rega, podem favorecer elevadas perdas de água por evaporação, escoamento superficial e arrastamento de nutrientes. Por isso, é fundamental ajustar as doses e a frequência de rega às necessidades da cultura e às condições edafoclimáticas, contribuindo assim para reduzir o risco de transporte de P para as massas de água superficiais e subterrâneas.

Eficiência de rega: 65–85 %

Vantagens

- Adequada a extensas áreas de culturas de baixo a médio porte (arvenses, hortícolas, jardins, etc.);
- Uma vez garantido o espaçamento adequado entre aspersores, a cobertura completa garante uma boa uniformidade de distribuição da frente de humedecimento;
- A boa uniformidade de distribuição da frente de humedecimento linear, garante um bom desenvolvimento lateral das raízes por todo o volume de solo humedecido também na entrelinha, aumentando a quantidade de nutrientes potencialmente extraíveis pela planta;
- Grande diversidade de sistemas que conferem fácil adequação a várias geometrias e topografias de parcelas;
- Adaptável a diferentes tipos de solo e culturas;
- Permite a mecanização e a automatização das operações de rega.

Desvantagens

- Sistemas de rega que funcionam a média e alta pressão, constituindo maior consumo energético;
- Maiores perdas por evaporação direta em dias quentes e ventosos;
- Distorção do modelo ideal de sobreposição a partir de baixas velocidades do vento (a partir de 5 m/s ou 18 km/h);
- Poderá favorecer o desenvolvimento de maior quantidade de infestantes;
- Difícil adaptação a culturas permanentes tais como os pomares e vinhas;
- Risco de escoamento superficial se a pluviometria não for ajustada às taxas de infiltração do solo, podendo favorecer o transporte de nutrientes, incluindo o P, para as massas de água.

Rega por gravidade (ou rega de superfície)

A rega por gravidade, também conhecida por rega de superfície, consiste na prática mais antiga de rega das culturas agrícolas, consiste em distribuir a água pela parcela, aproveitando a inclinação natural do terreno ou a inclinação que pode ser conferida com precisão à superfície da parcela, permitindo que a água avance por inundação ou através de sulcos que conduzem a água. Tira o melhor partido da gravidade para reduzir a dependência em energia. É um dos sistemas de rega mais antigos para as culturas arvenses, especialmente em zonas com disponibilidade de água e regadios tradicionais. Nas suas formas mais ou menos automatizadas, há vários tipos de rega por gravidade, que variam de acordo com o princípio ou técnica utilizado/a para colocar a água a escorrer superficialmente na parcela a regar. Pode ser por sulcos, em canteiros, em faixas, caldeiras ou até mesmo a rega de lima que consiste numa fina lâmina de água a escorrer pelos terraços de encostas para evitar geadas e garantir pastagem permanente ao longo do ano. A eficiência de rega e uniformidade de distribuição poderão ter intervalos de variação muito grandes porque depende muito do nível de automatização e adequação do sistema de rega ao tipo de solos e culturas.

Eficiência de rega: 40-70 %

Vantagens

- Baixo custo de instalação e de manutenção;
- Tecnologia acessível e de fácil adaptação, de consumo energético reduzido;
- Humedece um grande volume de solo, maximizando o aproveitamento de nutrientes do solo quando a EA e UD são elevadas;
- Adequado para grandes superfícies e zonas com infraestruturas tradicionais de rega
- Mais adequadamente aplicável a solos de textura fina /solos pesados, permitindo estabelecer maiores intervalos entre regas porque os solos de textura mais fina armazenam mais água, podendo acomodar dotações de rega mais elevadas, reduzindo-se a frequência de regas.

Desvantagens

- A eficiência de rega e uniformidade de distribuição poderão ser baixas se a parcela não estiver nivelada, sulcos e valas corretamente formatados e o sistema automatizado;
- Os sistemas automatizados dificilmente se adaptam a parcelas acidentadas, exigindo terrenos de declive suave ou planos;
- Se a EA e UD forem baixas, o risco potencial de perda de nutrientes e, particularmente, de contaminação das massas de água superficiais e subterrâneas com P, é muito elevado porque as dotações de cada rega são forçosamente elevadas para que o escoamento da água possa progredir favoravelmente até ao fim da parcela;
- Dificuldade em conseguir uma distribuição uniforme da água;
- Risco elevado de arrastamento de solo, P e outros nutrientes para as massas de água.

Eficiência da rega *vs*. Risco de perda de P

Sistema de rega	Eficiência (%)	Risco de perdas de P
Localizada	Elevada a muito elevada (80–95%)	Baixo
Localizada com Fertirrega	Elevado a muito elevado (80–95 %)	Médio
Aspersão	Média a elevada (65–85%)	Médio
Gravidade	Baixa a média (40–70%)	Elevado

3.2 – Outros fatores

O risco potencial de contaminação das massas de água por P poderá aumentar exponencialmente quando vários dos fatores referidos nas secções anteriores se conjugam. A tabela que se segue ajuda a fazer um rápido diagnóstico no qual se pode identificar a presença ou a ocorrência de um conjunto de fatores de risco. De acordo com a quantidade de fatores de risco identificados e conjugados, o nível de risco para a contaminação por P poderá ser classificado de ***reduzido*** a ***muito elevado***.

Fatores de risco	Fatores	Risco de poluição

	identificados	
Solo de textura grosseira/ligeira ou fina/pesada (arenoso ou argiloso/limo-argiloso)	X	***Elevado***
MO menor ou igual a 2%	X	
pH menor do que 6		
P_2O_5 (Égner-Riehm-AL) maior ou igual a 200 ppm ou **P_2O_5** (Olsen) maior ou igual a 115 ppm	X	
Toalha freática superficial: profundidade igual ou menor a 2 m durante a época estival (época seca)		
Declive da parcela maior ou igual a 8%		
Rega por alagamento ou identificado escorrimento superficial da água de rega	X	
Solo compactado: macroporosidade menor do que 10%		
Cobertura do solo: nula ou fraca		
Clima de elevada precipitação: com eventos frequentes de chuva intensa e concentrada		

Escala do nível de "Risco de poluição por fósforo"	
Reduzido: até **2** fatores	***Médio:*** **3** fatores
Elevado: **4** fatores	***Muito elevado:*** Maior que **5** fatores

Nota: Tabela utilizada a título de exemplo, devendo ser adaptada à realidade de cada sistema para autodiagnóstico do risco de poluição das massas de água com P.

Boas práticas recomendadas para a proteção das massas de água

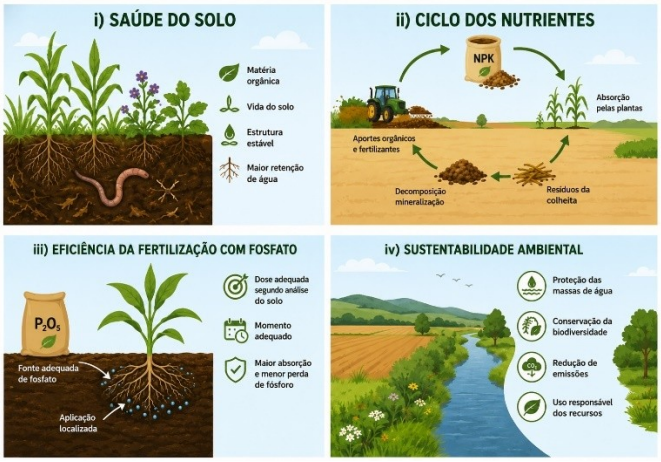
Otimizar a rega assegurando que a água é aplicada na parcela com elevada EA e elevada UD
Garantir que a taxa de infiltração da água de rega no solo é superior à taxa de aplicação da água
O método de rega, o equipamento escolhido, bem como a programação e a condução da rega, devem ser adequados às condições da parcela a beneficiar (topografia, área da parcela, tipo de solo, clima da região e cultura)
Ajustar as doses de fertilização, especialmente de P, às necessidades reais das culturas, através de análises do solo e planos de fertilização.
Aproveitar as possibilidades oferecidas pela fertirrega para fracionar a aplicação dos fertilizantes ao longo do ciclo da cultura, ajustando as soluções ao estado de fertilidade do solo e às necessidades sazonais da cultura
Manter faixas de proteção ou zonas-tampão com vegetação junto aos cursos de água para reduzir o arrastamento de sedimentos e nutrientes
Implementar culturas de cobertura e rotações/sucessões adequadas que favoreçam a proteção do solo e diminuam as perdas de P por erosão e escoamento superficial.
Evitar a aplicação de fertilizantes antes de episódios de chuvas intensas ou em solos saturados, reduzindo o risco de perdas de P e de poluição difusa.

Ficha Técnica: Gestão do fósforo no Montado

O montado mediterrânico apresenta um défice estrutural de fósforo assimilável (P_2O_5). As boas práticas de gestão do solo são cruciais para otimizar este recurso limitante, minimizando o escoamento superficial e a poluição difusa na sub-bacia funcional. Uma gestão regenerativa aumenta a matéria orgânica, estabiliza os agregados do solo e maximiza a infiltração e armazenamento da água no solo. Isto não só atenua a erosão, como também ativa os ciclos biogeoquímicos, melhorando a resiliência produtiva do binómio pastagem-azinheira no âmbito do pastoreio extensivo de ovinos, garantindo a viabilidade económica e a sustentabilidade deste ecossistema protegido.

1 Gestão do Fósforo no Solo

As boas práticas na gestão do fósforo no solo são positivas para:



Aspetos importantes a considerar na gestão do P no montado

- Avaliação do estado da fertilidade do solo e necessidades de correção;
- Mapeamento da condutividade elétrica do solo para a delimitação técnica dos 15 pontos de amostragem homogénea do solo e da água;
- Identificação e delimitação de sub-bacias funcionais como unidades de escala hidrológica e topográfica para monitorizar a dinâmica do P associada ao escoamento superficial;
- Delimitação de subparcelas, para garantir uma distribuição homogénea dos dejetos de ovinos e evitar locais de repouso fixos;
- Ajuste dinâmico da carga pecuária instantânea e dos períodos de repouso da pastagem, para preservar uma cobertura vegetal permanente que reduza a erosão nas encostas.

1.1 Diagnóstico do estado de fertilidade do solo

A avaliação da fertilidade do solo através de análises químicas e mapas de condutividade elétrica constitui a base científica para uma fertilização de precisão em áreas tão extensas como as do sistema de montado. Permite identificar a diversidade de manchas de solo e diferença de fertilidade entre elas, quantificar o P assimilável e os fatores que poderão ser limitantes à reduzida eficiência de aproveitamento do fósforo pelas pastagens, tais como o pH e o teor em matéria orgânica. Este diagnóstico é essencial como base para a realização dos Planos de Fertilização e aumento da eficiência de uso dos fertilizantes fosfatados. A reduzida eficácia na absorção do P pelas pastagens deve-se à precipitação do P no solo em formas insolubilizadas com os metais, quando o pH do solo é baixo, ou com o cálcio, quando o pH do solo é elevado. A acumulação concomitante de P no solo que não foi absorvido pelas plantas, favorece a poluição difusa deste nutriente através de arrastamento com a erosão hídrica do solo e/ou lixiviação. Conhecer o estado real do solo otimiza os custos dos fatores de produção, garante a viabilidade da criação extensiva de ovinos e evita desequilíbrios ecológicos transnacionais.

Como interpretar os resultados de P no solo

Classe	P_2O_5 - Égner-Riehm (mg/kg)	P_2O_5 - (Olsen) (mg/kg)	Interpretação	Ação recomendada
Muito Baixo	≤25	≤18	Deficiência crítica. O teor de P no solo limita a produtividade da pastagem.	Concentrar o gado sob Gestão Holística (alta carga instantânea) para fornecer P orgânico lábil por via da urina e das fezes depositadas.
Baixo	26–50	18 –34	Défice moderado típico das pastagens da Estremadura.	Dividir em subparcelas para promover um pastoreio uniforme e uma deposição homogénea de nutrientes sem ter de recorrer a fertilizantes sintéticos.
Médio	51–100	35–56	Nível ótimo e em equilíbrio para o ecossistema do montado.	Aplicar o plano de rotação holística padrão, respeitando os períodos de descanso para manter este estado biológico.
Alto	101–200	57–115	Nível elevado. Risco	Reduzir o tempo de

			de erosão em encostas se houver solo descoberto.	permanência do gado na subparcela e aumentar a densidade da pastagem através de períodos de repouso do pastoreio.
Muito alto	> 200	>115	Saturação local em P. É provável ocorrer em antigos locais de repouso da «Gestão Tradicional»	Exclusão temporária do gado e recuperação do excesso de P com cobertura de vegetação particularmente extratora/acumuladora de P.

Como interpretar os resultados do $pH_{(H2O)}$

Classe	**pH (H_2O)**	**Interpretação**	**Ação recomendada**
Muito ácido	≤ 4,5	P fortemente fixado pelo alumínio e pelo ferro. Solos graníticos típicos com elevada toxicidade potencial e bloqueio de fosfatos.	Estimular a biologia do solo através do pastoreio rotativo de elevada carga instantânea. A camada de manta morta gerada e o pisoteio, atenuam a acidez e libertam P. Complementar com corretivos dolomíticos para aumentar o teor em Mg.
Ácido	4,6 - 5,5		
Pouco ácido	5,6 - 6,5	Intervalo ideal para a pastagem; boa disponibilidade de P.	Potenciar as leguminosas espontâneas através de períodos rigorosos de repouso da pastagem, que fixem azoto e acidifiquem a rizosfera de forma controlada.
Neutro	6,6 – 7,5	Disponibilidade máxima de P e elevada atividade microbiana.	Condições ideais para maximizar a velocidade de rotação do gado e o crescimento vigoroso das espécies mais palatáveis.
Pouco alcalino	7,6 - 8,5	Início da fixação de fosfatos pelo cálcio.	O pisoteio holístico incorpora ácidos orgânicos da camada morta, que ajudam a contrariar a tendência alcalina local.
Alcalino	8,6 – 9,5	P fortemente fixado sob a forma de fosfato cálcico	Favorecer o repouso noturno controlado e móvel nestas
Muito	>9,5		

alcalino		insolúvel. Degradação estrutural.	subparcelas, para que os dejetos frescos de ovinos acidifiquem biologicamente o perfil edáfico.

Nota: Em solos com pH entre 6,0 e 6,8 a disponibilidade de P é máxima e a atividade microbiana é mais intensa.

Como interpretar os resultados da MO

Classe	MO (%)	Impacto	Ação recomendada
Muito baixo	< 1,0	Proteção nula do P; risco máximo de erosão.	Aplicar «pastoreio de impacto» (alta densidade de ovinos durante poucas horas) para triturar e incorporar restos vegetais mortos no perfil do solo.
Baixo	1,0-2,0	Atividade biológica insuficiente para solubilizar o P.	Implementar um plano de «pastoreio holístico» por subparcelas, forçando a rotação para iniciar a acumulação de cobertura morta.
Médio	2,0-3,5	Estabilidade estrutural moderada	Consolidar os períodos de repouso no inverno e na primavera para permitir que as raízes fixem carbono orgânico estável.
Alto	3,5-5,0	Excelente. Elevada complexação de catiões bloqueadores do P.	Manter a gestão holística; é o único sistema capaz de estabilizar e manter estes níveis na pecuária extensiva.
Muito alto	>5,0	Máxima funcionalidade microbiana e libertação de P solúvel.	Utilizar como parcela de controlo para avaliar o limite máximo do potencial bioclimático da exploração sob gestão regenerativa.

Exemplos de combinações de fatores que condicionam ou favorecem a disponibilização do P

A disponibilidade efetiva do P dependerá da combinação dos três fatores: teor de P assimilável, pH e teor de MO no solo

- **pH baixo + P_2O_5 alto** → P está presente em grande quantidade, mas bloqueado (indisponível para as plantas porque insolubiliza-se quando o pH é baixo). Realizar calagem antes da fertilização fosfatada;
- **MO baixa + P_2O_5 médio** →Aumentar o teor de M.O. do solo e, se necessário, reforçar a aplicação de P mineral.
- **pH 6,0–6,8 + MO > 2%** → Condições favoráveis para a maior disponibilidade do P para as plantas; eficiência máxima da fertilização.
- **pH > 7,3 + MO < 1 % + P_2O_5 médio ou baixo** → Condições frequentes em solos calcários, com o P bloqueado pelo cálcio proveniente dos carbonatos e reserva de P orgânico escassa. Aumentar a MO e complementar com adubos fosfatados quando se aplicarem outros nutrientes, como azoto ou potássio.

1.2 Proteção e conservação do solo

A conservação do solo no montado é alcançada através da gestão holística como motor biológico. A regulação rigorosa da relação entre carga pecuária e tempo de repouso evita que o solo fique descoberto e estimula a regeneração natural. Esta prática rompe com a degradação histórica do pastoreio tradicional contínuo, aumentando a porosidade do solo, estabilizando os agregados e potenciando a microbiota simbiótica da rizosfera, responsável por solubilizar o P mineral inacessível.

Proteção contra a erosão

No âmbito da gestão holística, minimiza-se a destruição estrutural do solo através de uma elevada carga pecuária instantânea e de períodos de repouso prolongados. Isto gera uma camada de manta morta permanente, otimiza a agregação e mantém elevadas taxas de infiltração.

Práticas comuns:

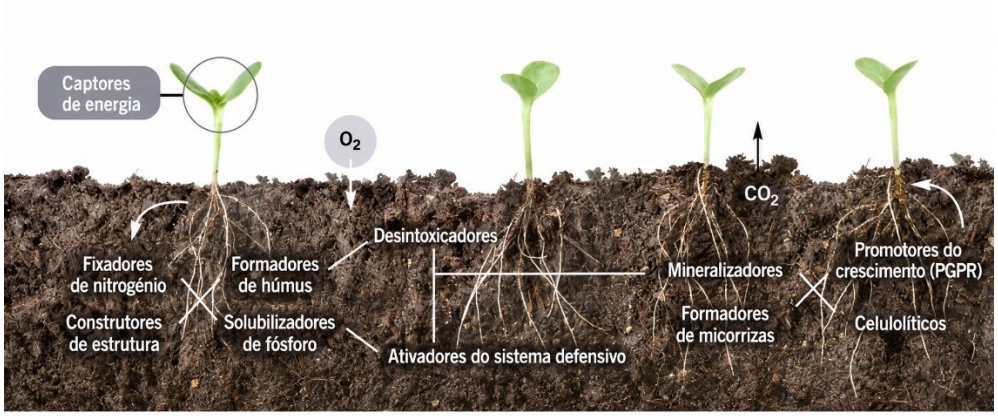
- Pastoreio rotativo planeado;
- Sementeira direta de pastagem polifítica (biodiversa);
- Limpeza seletiva em faixas.

Promoção de microrganismos benéficos

O aumento da biodiversidade microbiana ativa a solubilização do P inorgânico retido. No âmbito da gestão holística, os períodos prolongados de repouso da pastagem nutrem a

rizosfera, promovendo o aumento dessa biodiversidade.

Práticas comuns:
- pastoreio rotativo planeado;
- inoculação de fungos micorrízicos;
- adição de resíduos lenhosos triturados.



Vantagens
- Reduz as perdas de solo por erosão hídrica;
- Aumenta a eficiência de absorção do P assimilável;
- Aumenta a resiliência da pastagem na época seca porque o armazenamento de água no solo é maior;
- Estimula a cadeia trófica da biota do solo e a micorrização;
- Reduz a dependência de fertilizantes minerais sintéticos.

Desvantagens
- Exige rigor nos respeito pelos períodos de repouso rotativo;
- Resultados de recuperação biológica só são visíveis a médio prazo;
- Elevada sensibilidade inicial ao stress hídrico extremo;
- Incompatível com os fertilizantes sintéticos de elevada solubilidade.

Promoção do aumento da biodiversidade das pastagens e das zonas de refúgio natural no montado

A biodiversidade vegetal enriquece a rizosfera com diversos exsudados alimentando uma cadeia trófica extensa e biodiversa, responsável pela produção de enzimas diversas necessárias na disponibilização do P insolubilizado novamente em formas assimiláveis pelas plantas. Deste modo, otimiza-se a reciclagem vertical do P do solo.

Práticas comuns:

- Sementeira de pastagens polifíticas com leguminosas;
- Manutenção de limites de parcelas arborizados;
- Proteção para a regeneração florística natural.

Vantagens

- Otimiza a reciclagem vertical do P do solo;
- Aumenta a estabilidade estrutural face à erosão hídrica;
- Diversifica as cadeias tróficas biológicas na rizosfera;
- Proporciona um mosaico forrageiro com maior resiliência climática.

Desvantagens

- Custo elevado da utilização de sementes polifíticas (para a pastagem biodiversa);
- Complexidade na gestão pecuária extensiva tradicional;
- Necessidade de proteger a regeneração natural da vegetação, do gado ovino;
- Retorno do investimento produtivo visível apenas a longo prazo.

Resumo dos efeitos da melhoria da condição do solo sobre o P no solo e na água

Prática	Efeito do P no solo	Efeito do P na água
Proteção contra a erosão pelo aumento da MO que promove a agregação do solo	Fixa mecanicamente os fosfatos no horizonte superficial, ao ser evitada a perda de solo. Aumenta os níveis de MO estável, a qual irá competir pelos pontos de fixação do P, aumentando a	Reduz drasticamente o transporte de partículas finas de solo carregadas de P em direção às linhas de água da sub-bacia funcional, devido ao efeito do escoamento superficial da água da chuva.

	disponibilidade do P orgânico lábil.	
Promoção de microrganismos benéficos	Estimula a secreção de ácidos orgânicos e enzimas fosfatases que solubilizam as frações de P inorgânico bloqueado. A rede de micorrizas aumenta a taxa de absorção biológica do P na rizosfera.	A retenção e estabilização do P livre na biomassa microbiana do solo, reduz significativamente o risco de lixiviação de fosfatos solúveis para as águas subterrâneas.
Promoção do aumento da biodiversidade vegetal	Diversifica os nichos radiculares a diferentes profundidades, otimizando a reciclagem vertical de nutrientes. As leguminosas espontâneas introduzem azoto e libertam exsudados que desbloqueiam o P cálcico.	A rede radicular biodiversa e densa atua como uma esponja biológica de absorção, captando os excedentes de P dissolvidos no perfil de solo antes destes atingirem a toalha freática.

1.3 Utilização do solo e gestão da vegetação (pastagens e árvores)

Biodiversidade e melhoria do mosaico

O desenho em mosaico do montado combina estrategicamente a pastagem biodiversa, como cobertura de proteção física do solo contra o escoamento e perdas de solo por erosão hídrica, sendo que o estrato arbóreo e arbustivo proporcionam a proteção de regulação bioclimática essencial para a criação extensiva de ovinos, uma vez que estes animais permanecem longos períodos ao ar livre. Esta heterogeneidade vegetal atenua a degradação dos solos ao diversificar o sistema radicular e os nichos microbiológicos da rizosfera. As copas das árvores reduzem o impacto erosivo das chuvas torrenciais, enquanto as raízes profundas transportam o P dos horizontes inferiores para a superfície, através da manta morta, enriquecendo biologicamente o solo e otimizando o ciclo dos nutrientes na sub-bacia hidrográfica.

Vantagens

- Equilibra os níveis de P entre as zonas abertas e debaixo da copa das árvores;

- Melhora o conforto térmico e o bem-estar do gado ovino;
- Diversifica a entrada de MO no solo e estimula a presença de raízes a diferentes profundidades.

Desvantagens

- A gestão tradicional contínua, se mal conduzida, poderá provocar os efeitos negativos do sobrepastoreio que são a compactação do solo e hiperacumulação de P sob a copa das árvores;
- A solução holística exige o planeamento de rotações com cercas móveis para diversificar os locais de repouso fixos e proteger os carvalhos.

Manutenção de pastagens biodiversas como cobertura física permanente do solo
(equivalente ao pastoreio permanente noutros sistemas)

Em oposição à manutenção de solo nu, a «gestão holística» é a estratégia principal de um montado regenerativo que se pretende ser resiliente às alterações climáticas. Ao concentrar uma elevada pressão pecuária instantânea durante períodos breves em subparcelas da sub-bacia, o gado ovino consome a pastagem de forma uniforme, sem selecionar espécies preferenciais, estimulando uma retoma do crescimento vigoroso e biodiverso durante o período de repouso da pastagem. O pisoteio controlado tritura e incorpora a biomassa seca como cobertura orgânica, aumentando exponencialmente a rugosidade superficial. Esta cobertura física permanente atua como um escudo hidrológico: reduz o impacto das chuvas torrenciais, otimiza as taxas de infiltração do solo e diminui drasticamente a velocidade do escoamento superficial nas encostas das sub-bacias da exploração.

Vantagens

- Reduz o risco de solo nu sem ou com pouca vegetação nas encostas;
- Distribui o P, proveniente da dejeção dos animais, de forma homogénea;
- Maximiza a infiltração e a retenção da água da chuva no solo;
- Promove a regeneração natural e a biodiversidade da pastagem.

Desvantagens

- Exige um elevado investimento inicial em cercas móveis;
- Requer a instalação de infraestruturas de água portáteis;
- Requer um planeamento diário e especializado da alimentação com forragem.

Melhoria do mosaico

Desmatação em faixas

A desmatação em faixas consiste na remoção mecânica seletiva da vegetação invasora em faixas alternadas, segundo as curvas de nível. A prática recomendada é manter intactas as faixas densas que atuam como barreiras físicas de retenção de sedimentos e P, reduzindo assim, o escoamento superficial.

Vantagens

- Aumenta a área útil para o pastoreio;
- As faixas remanescentes travam fisicamente o escoamento superficial;
- Retém sedimentos e partículas de P nas encostas;
- Preserva refúgios de biodiversidade arbustiva autóctone.

Desvantagens

- Requer maquinaria específica que evite a compactação do solo;
- Exige uma manutenção bienal para controlar reincidência por rebentos agressivos;
- Custo operacional elevado por hectare tratado.

Como implementar:

É executado com um destroçador de correntes acoplado a um trator leve em épocas de solo seco, para evitar a compactação. Abrem-se faixas arvenses com 5 a 10 metros de largura, seguindo as curvas de nível, intercalando e respeitando faixas de mato maduro e árvores isoladas de sobreiros e azinheiras autóctones, para consolidar a encosta contra o escoamento superficial.

Corte seletivo

O corte seletivo consiste na poda planeada e direcionada do estrato arbóreo para eliminar madeira morta, arejar a copa e regular a entrada de luz solar, otimizando a produtividade e a densidade da pastagem, contra a erosão hídrica.

Vantagens

- Aumenta a radiação solar no sub-bosque, estimulando o crescimento da erva;
- Fornece biomassa lenhosa triturada que aumenta o carbono orgânico superficial, contribuindo para o aumento de MO estável do solo;

- Elimina focos de agentes patogénicos e melhora a arquitetura da copa das árvores.

Desvantagens

- Custo económico elevado devido à necessidade de mão-de-obra qualificada;
- Risco de propagação de doenças fúngicas se as alfaias estiverem contaminadas e não forem desinfetadas;
- Uma poda excessiva pode reduzir a produção sazonal de bolotas, colocando em risco a alimentação de suínos.

Como implementar:

É realizado durante o repouso invernal através de cortes com motosserra manual, eliminando ramos secos ou baixos para arejar a copa. As ferramentas devem ser cuidadosamente desinfetadas antes e depois de cada árvore. Por fim, os resíduos lenhosos são processados imediatamente no local com um triturador ou destroçador, incorporando as aparas no solo para evitar fogos.

Biodiversidade e mosaico do montado

Manutenção de pastagens biodiversas

Corte selectivo da vegetação

Gestão de pastagens e/ou pastoreio integrado

Instalação e conservação de pastagens

A instalação de misturas polifíticas ricas em leguminosas perenes (como o *Trifolium subterraneum*) melhora radicalmente a utilização do P do solo. Estas espécies exsudam ácidos orgânicos e enzimas fosfatases através das suas raízes, quebrando as ligações insolúveis do fosfato cálcico e inorgânico em solos pouco ácidos. Esta mobilização biológica transforma o P bloqueado em formas orgânicas assimiláveis. Além disso, a manutenção deste tapete biodiverso garante uma cobertura física permanente que aumenta a MO ativa na pastagem, estabilizando os agregados superficiais e prevenindo a perda de nutrientes por lixiviação ou escoamento hídrico nas zonas inclinadas.

Vantagens

- Mobiliza e solubiliza o P fixado através de exsudados radiculares;
- Melhora a qualidade nutricional e proteica da forragem disponível;
- Oferece proteção física permanente contra o escoamento superficial;
- Aumenta o teor de MO estável do solo a longo prazo, contribuindo para a melhor agregação e resistência do solo à erosão hídrica.

Desvantagens

- Custo inicial elevado das sementes polifíticas certificadas (para a pastagem biodiversa);
- Elevada dependência das condições climáticas favoráveis (chuva e temperaturas) para o sucesso da sua instalação;
- O pastoreio extensivo terá de ser limitado durante a fase inicial de enraizamento;
- Risco de perda devido à competição com matos ou espécies infestantes.

Como implementar:

Realiza-se através de sementeira direta no início do outono, após as primeiras chuvas, aplicando uma dose de semente de 20 kg/ha com um semeador de discos que enterra superficialmente a semente sem inverter os horizontes do solo. É obrigatório excluir a parcela do pastoreio extensivo durante os primeiros meses para garantir o enraizamento e a boa nodulação das leguminosas pelo rizóbio.

Plano de pastoreio

Os períodos de repouso prolongados são a principal ferramenta de gestão de pastoreio no montado, pois ativam a micorrização e a biodiversidade edáfica.
Isto otimiza a solubilização do P e equilibra os nutrientes da pastagem, maximizando a eficiência biológica do solo sem necessidade de contributos externos.

Vantagens

- Erradica o sobrepastoreio localizado e homogeneíza os dejetos dos ovinos;
- Otimiza a absorção de P, ativando as micorrizas da rizosfera;

- Melhora a descompactação biológica e a porosidade estrutural do solo;
- Aumenta a estabilidade e a resiliência da cobertura vegetal face às secas.

Desvantagens

- Elevada necessidade de mão-de-obra para rodar as cercas móveis;
- Exige um planeamento diário e rigoroso com base nas taxas de crescimento da erva;
- Elevado investimento inicial em infraestruturas de água distribuídas por subparcela;
- Sensibilidade crítica a variações meteorológicas extremas e imprevistas.

Como implementar:

É executado dividindo as sub-bacias experimentais por meio de cercas elétricas solares móveis. O tempo de permanência ideal do rebanho ovino (algumas horas ou dias) é calculado por modelo matemático com base na biomassa forrageira disponível, garantindo períodos prolongados de repouso que respeitem os ritmos biológicos de recuperação e rebrotamento da pastagem mediterrânica.

Resumo dos efeitos **da *Melhoria da condição do solo* e *da pastagem***, sobre o P no solo e na água

Prática	Efeito do P no solo	Efeito do P na água
Manutenção de pastagens biodiversas	O pastoreio concentrado durante um curto período de tempo ajuda à retenção do P, proveniente dos dejetos das ovelhas, na camada superficial do solo, acelerando a reciclagem natural do nutriente graças às raízes da erva da pastagem.	Um tapete de relva denso e ativo absorve mais eficazmente o P diretamente do solo e impede que a energia da chuva arraste as partículas do solo para as linhas de água.
Corte seletivo	Ao triturar os ramos finos da poda no próprio terreno, cria-se uma camada de proteção física (cobertura morta) que enriquece o solo em MO, ajudando a reter o P no solo.	As copas dos sobreiros quando bem conduzidas e densas quebram eficazmente e energia da chuva, conduzindo grande parte da água a escorrer pelos troncos e infiltrar-se no solo, reduzindo drasticamente a erosão hídrica do solo e evitando as perdas de P para as linhas de água.
Desmatação	Ao limpar mecanicamente o mato	As faixas de mato que são

seletiva	mais antigo, a biomassa é incorporada no solo, estimulando a formação de húmus, libertando o P que estava retido nas plantas lenhosas.	estrategicamente deixadas intactas nas encostas, funcionam como barreiras naturais, retendo a terra e os nutrientes que a água da chuva possa arrastar ao longo da encosta, quebrando grande parte da energia erosiva da água da chuva.
Gestão de pastagens ou pastoreio integrado	As raízes das leguminosas (como os trevos, p.ex.) libertam substâncias naturais (exsudados) que dissolvem o P retido no solo, transformando-o num nutriente assimilável pelas plantas.	A maior assimilação do P pela pastagem, reduz o risco de arrastamento por erosão hídrica, salvaguardando as linhas de água da contaminação por P.
Plano de pastoreio	Ao distribuir o rebanho de forma planeada por subparcelas, os dejetos animais distribuem-se uniformemente por toda a propriedade, eliminando os locais fixos de longo tempo de repouso, onde antes se acumulavam por excesso.	Ao utilizar cercas móveis para a retenção dos animais, afasta-se o gado das margens das linhas de água, anulando o risco dos dejetos animais poderem atingir as linhas de água ou evitando que degradem a cobertura viva que reveste os taludes das margens.

Gestão de resíduos lenhosos e vegetação infestante e/ou invasora

Os resíduos lenhosos provenientes de podas e desbastes de espécies não desejadas no mosaico florístico biodiverso, são processados imediatamente na exploração com um destroçador. As aparas resultantes são espalhadas de forma homogénea pelo terreno para criar uma camada morta protetora que, ao decompor-se, transforma-se em MO estável, melhorando a estrutura do solo. Além disso, uma parte selecionada é compostada juntamente com estrume ovino para obter um composto orgânico equilibrado que reativa mais rapidamente a biota do solo nas zonas mais degradadas.

Compostagem

É realizada alternando camadas de lascas de madeira (ricas em carbono) com estrume ovino maduro (rico em azoto) em pilhas alongadas. A humidade e a temperatura são controladas periodicamente através de revolvimentos mecânicos. Após seis meses de compostagem, o composto resultante maduro é espalhado nas zonas mais compactadas,

acelerando a regeneração da biota do solo, aumentando imediatamente o teor de MO do solo, reduzindo a compactação e melhorando a fertilidade global.

Benefícios da valorização dos resíduos

A reintegração de resíduos de poda e estrume retarda a degradação da pastagem, ao fornecer húmus estável, retardando a rápida mineralização que leva à perda natural de nutrientes e elevada suscetibilidade do solo à erosão. Uma das sugestões consiste em aplicar as lascas diretamente nas caldeiras à volta dos sobreiros doentes, como cobertura morta, ou distribuir o composto nas zonas de pastagem mais erodidas, para reativar mais rapidamente a fertilidade e a porosidade do solo.

Boas práticas recomendadas para a gestão do solo
Plano de pastoreio holístico: consiste em fazer a rotação do rebanho ovino de forma planeada por subparcelas, utilizando cercas móveis, mantendo o gado durante poucas horas ou dias em cada zona. Esta prática garante períodos de repouso prolongados para que a pastagem se recupere e distribui o estrume de forma homogénea.
Manutenção de pastagens biodiversas: baseia-se na sementeira direta de misturas de sementes ricas em leguminosas para manter o solo coberto de vegetação durante todo o ano. Este tapete verde atua como um escudo físico que atenua a força da chuva e evita a perda de solo por escoamento.
Corte e poda seletiva dos carvalhos (azinheiras e/ou sobreiros): consiste na limpeza, durante o inverno, de ramos secos e na aeração das copas das árvores, desinfetando cuidadosamente as ferramentas para evitar a propagação de doenças. Esta intervenção regula a entrada de luz solar, o que estimula um crescimento mais vigoroso da erva que cresce por baixo.
Desbaste de matos em faixas: é realizado através do desbaste mecânico seletivo do mato invasivo em faixas alternadas, seguindo sempre as curvas de nível do terreno. As faixas de vegetação arbustiva que são deixadas intactas funcionam como barreiras naturais nas encostas da pastagem, com funcionalidade de proteção física a quebrar energia de escoamento hídrico e como refúgio de organismos auxiliares.
Trituração e compostagem de resíduos: os restos lenhosos das podas são processados na própria exploração para serem espalhados como cobertura protetora, fermentados juntamente com o estrume dos currais ou compostados. Ao reincorporar estes materiais, fornece-se húmus estável ao solo, o que melhora a sua porosidade, a capacidade de retenção de água e aumenta a biodiversidade microbiológica do solo, essencial para a micorrização que facilita a assimilação do P pela pastagem.

2 Fertilização

2.1 Princípios gerais:

- **Substituição de adubos sintéticos por fertilização biológica**: Dar prioridade às espécies fixadoras de azoto e aos microrganismos do solo que solubilizam o P precipitado no solo, reduzindo a dependência de adubos comerciais.
- **Otimização nutricional monitorizada através das análises:** Adicionar nutrientes no solo somente depois de analisadas as deficiências do solo, ajustando as doses às necessidades da pastagem e dos carvalhos para evitar bloqueios químicos.
- **Prevenção de perdas hídricas:** Aplicar os corretivos orgânicos em épocas de estabilidade climática e sobre coberturas vegetais densas, impedindo que o P seja arrastado pela erosão hídrica do solo.

2.2 Época de aplicação dos fertilizantes

A aplicação de P para a correção do nutriente é realizada maioritariamente no início do outono, aproveitando a pausa estival e as primeiras chuvas para que o nutriente seja mais eficazmente incorporado no solo, antes da pastagem carvalhos entrarem em dormência. No entanto, a eficiência desta fertilização tradicional apresenta grandes limitações: nos solos tipicamente ácidos ou muito calcários do montado, o P fica rapidamente bloqueado ao ligar-se quimicamente ao ferro, ao alumínio ou ao cálcio. Isto impede que as raízes o absorvam livremente, fazendo com que grande parte do fertilizante aplicado fique imobilizado e inacessível à vegetação durante os meses de máximo crescimento que são os da primavera.

2.3 Técnica de aplicação dos fertilizantes

A MO e os nutrientes são incorporados através de espalhadores superficiais, sem mobilização, aplicando o composto ou as aparas trituradas a cada três ou quatro anos para melhorar a estrutura do solo. Para corrigir o pH em solos ácidos, são distribuídos corretivos calcários de forma intensiva a cada cinco anos, o que desbloqueia o P fixado. As deficiências pontuais de nutrientes são resolvidas anualmente através de espalhadores centrífugos de precisão ou fertirrega localizada nas árvores jovens. Estas técnicas evitam alterar os horizontes do solo e reduzem as perdas por lixiviação para as linhas de água.

2.4 Tipo de fertilizantes fosfatados

Ao abrigo do Regulamento (UE) 2019/1009 e do Decreto-Lei 1051/2022 sobre nutrição sustentável, limita-se o uso excessivo de P mineral para travar a poluição hídrica. A «gestão holística» reduz drasticamente a necessidade de entradas externas, uma vez que o pastoreio planeado e concentrado recicla o P através dos dejetos pecuários e ativa os microrganismos do solo, conseguindo uma fertilização natural, legal e autossuficiente para a pastagem.

IMPORTANTE: Obrigatória a consulta dos diplomas legais aplicados, nomeadamente para o caso dos corretivos orgânicos.

Pontos Críticos

- **Dose máxima de azoto de origem orgânica**: Nas Zonas Vulneráveis à contaminação por Nitratos (ZVN) a aplicação máxima de N de origem orgânica permitida é 170 kg N/ha/ano (Diretiva 91/676/CEE do Conselho). Este limite condiciona indiretamente a quantidade de P aplicada, visto que, se tomarmos como referência o estrume de bovino, as 170 unidade de N orgânico correspondem a uma aplicação máxima de aproximadamente 70 kg P_2O_5/ha/ano por via dos corretivos orgânicos.
- **Análise do efluente**: Conhecer a concentração de P total do efluente antes da aplicação; calcular o Balanço de P para se aplicar apenas o estritamente necessário para a obtenção das produções esperadas realisticamente.
- **Época e condições de aplicação**: Evitar aplicações de fertilizantes em solos saturados, com declive maior do que 8% ou antes de precipitação prevista e, para as ZVN garantir a faixa tampão de 10–50 m em relação às linhas de água.

Boas práticas na gestão da fertilização
Fertilização biológica através de uma gestão holística: Esta prática substitui os adubos sintéticos tradicionais de elevada solubilidade, pela reciclagem natural de nutrientes através do pastoreio planeado e rotativo do gado ovino.
Correções orgânicas e organomineral de precisão: Consiste em dar prioridade à utilização de composto, estrume maduro e adubos organomineral em detrimento dos fertilizantes sintéticos solúveis, aplicando apenas as doses necessárias determinadas por análises prévias do solo.
Aplicação superficial no outono e sem mobilização: Baseia-se na distribuição dos fertilizantes e corretivos no terreno no início do outono, aproveitando as primeiras chuvas para a sua incorporação antes do despertar das pastagens e dos carvalhos.

Proteção das massas de água

Proteger as massas de água no montado é vital para garantir a saúde do ecossistema, do

gado e das populações a jusante. Evitar a chegada de sedimentos e nutrientes, como o P, previne a eutrofização, um processo que esgota o oxigénio das massas de água e altera a biodiversidade aquática. Manter a água limpa garante o abastecimento de água potável segura para os animais e preserva os aquíferos subterrâneos. Uma rede hidrológica saudável funciona como um indicador direto de que a gestão do solo nas encostas está a ser realizada de forma correta e sustentável.

3.1 Manutenção das zonas de infiltração e gestão da vegetação ribeirinha

A cobertura vegetal permanente e um solo microbiologicamente vivo maximizam a infiltração e a biorremediação, armazenando água para os períodos de seca e reduzindo o escoamento erosivo. Para mitigar os riscos temporários de compactação ou lixiviação de excrementos decorrentes do pastoreio concentrado do Gestão Holístico, estabelecemos zonas tampão de 10 a 15 metros através de cercas móveis que afastam o gado dos leitos dos rios. Além disso, a vegetação ribeirinha é mantida intacta nas encostas e margens, atuando como um filtro biológico natural que retém sedimentos, absorve o excesso de P e protege a qualidade da água na pastagem.

3.2 Outros fatores

O risco potencial de contaminação das massas de água por P poderá aumentar exponencialmente quando vários dos fatores referidos nas secções anteriores se conjugam. A tabela que se segue ajuda a fazer um rápido diagnóstico no qual se pode identificar a presença ou a ocorrência de um conjunto de fatores de risco. De acordo com a quantidade de fatores de risco identificados e conjugados, o nível de risco para a contaminação por P poderá ser classificado de ***reduzido*** a ***muito elevado***.

Fatores de risco	Fatores identificados	Risco de poluição
Solo de textura grosseira/ligeira ou fina/pesada (arenoso ou argiloso/limo-argiloso)	X	***Elevado***
MO menor ou igual a 2%	X	

pH menor do que 6		
P_2O_5 (Égner-Riehm-AL) maior ou igual a 200 ppm ou **P_2O_5** (Olsen) maior ou igual a 115 ppm	X	
Toalha freática superficial: profundidade igual ou menor a 2 m durante a época estival (época seca)		
Declive da parcela maior ou igual a 8%		
Rega por alagamento ou identificado escorrimento superficial da água de rega	X	
Solo compactado: macroporosidade menor do que 10%		
Cobertura do solo: nula ou fraca		
Clima de elevada precipitação: com eventos frequentes de chuva intensa e concentrada		

Escala do nível de "Risco de poluição por fósforo"	
Reduzido: até **2** fatores	***Médio:*** **3** fatores
Elevado: **4** fatores	***Muito elevado:*** Maior que **5** fatores

Nota: Tabela utilizada a título de exemplo, devendo ser adaptada à realidade de cada sistema para autodiagnóstico do risco de poluição das massas de água com P.

Boas Práticas recomendadas para a proteção das massas de água
Criação de zonas de amortecimento ribeirinhas: consiste na exclusão temporária do gado, através de cercas elétricas móveis, numa faixa de 10 a 15 metros ao longo dos cursos de água e ribeiros da pastagem. Esta medida evita que os dejetos dos animais caiam diretamente nos leitos dos rios e elimina o pisoteio contínuo que degrada mecanicamente as encostas e as margens.
Manutenção e conservação da vegetação ribeirinha: baseia-se na proteção e restauração do estrato arbustivo e arbóreo característico das margens fluviais, mantendo-o intacto face a desmatamentos ou podas severas. Esta densa barreira vegetal atua como um filtro biológico natural que abranda a velocidade da água da chuva, retém os sedimentos das encostas e absorve os excessos de P antes que estes contaminem a água.
Rede de bebedouros móveis fora dos cursos de água: consiste na instalação de pontos de água alternativos e deslocáveis, ligados à rede de distribuição nas zonas altas das subparcelas. Ao afastar os bebedouros dos leitos naturais, reduz-se drasticamente a pressão do gado nas zonas húmidas sensíveis, diminuindo o risco de compactação do solo e de lixiviação de nutrientes para os aquíferos.

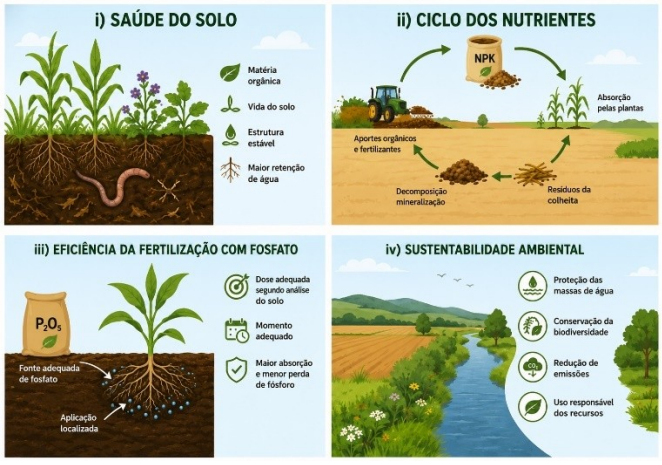
Ficha Técnica: Gestão do fósforo na Produção Avícola

A produção de patos em regime de pastoreio caracteriza-se pela deposição direta de dejetos no solo e pela produção de camas e efluentes ricos em fósforo (P), nutriente com elevado potencial de contaminação das massas de água. A vulnerabilidade acentua-se pela concentração de animais junto a abrigos, comedouros e pontos de água. O carácter sazonal da atividade — com picos de encabeçamento e de produção de efluentes — eleva temporariamente o risco, pelo que as decisões de gestão (épocas de aplicação, rotação de parques, valorização de resíduos) devem acompanhar essa sazonalidade. As boas práticas de gestão do solo são essenciais para minimizar as perdas de P para as águas superficiais e subterrâneas.

1 Gestão do Fósforo no Solo

As boas práticas na gestão do fósforo no solo são positivas para:

i) **Saúde do Solo**: manter a cobertura vegetal (pastagem) permanente e densa, protegendo a estrutura e a atividade biológica do solo; ii) **Ciclo de Nutrientes**: reincorporar as camas e os efluentes, após compostagem, fechando o ciclo do P na exploração; iii) **Eficiência da Fertilização Fosfatada**: rotação dos parques de pastoreio para distribuir uniformemente a carga de P e evitar acumulações pontuais.



Aspetos importantes da gestão do P na produção avícola

- Estado de fertilidade do solo (determinação do teor de P assimilável - P_2O_5, valor do pH, teor de matéria orgânica - MO) e capacidade de carga em P;
- Distribuição espacial da carga animal (proximidade de abrigos, comedouros e bebedouros);
- Gestão e valorização das camas e efluentes (compostagem, armazenamento,

exportação do excedente);
- Manutenção da cobertura vegetal permanente e proteção do solo contra a erosão;
- Carácter sazonal da atividade e ajuste das práticas ao calendário produtivo.

1.1 Diagnóstico do estado de fertilidade do solo

Nos sistemas avícolas em pastoreio, o diagnóstico do solo tem um objetivo distinto do das culturas agrícolas: dada a entrada contínua de P pelos dejetos, o risco dominante é a acumulação e não a carência em P. A análise de solo, realizada antes da época de maior encabeçamento, permite conhecer os teores de P assimilável (P_2O_5), o pH e a MO, avaliando a capacidade do solo para receber mais P sem ultrapassar os limiares de risco ambiental.

Como interpretar os resultados de P no solo

Classe	P_2O_5 - Égner-Riehm (mg/kg)	P_2O_5 - (Olsen) (mg/kg)	Interpretação	Ação recomendada
Muito Baixo	≤25	≤18	Disponibilidade de P muito reduzida	Realizar fertilização fosfatada. Espera-se uma resposta muito elevada da cultura à fertilização
Baixo	26–50	18 –34	Disponibilidade de P reduzida	Realizar fertilização fosfatada. Espera-se uma resposta elevada da cultura à fertilização
Médio	51–100	35–56	Disponibilidade de P satisfatória	Realizar fertilização fosfatada. Espera-se uma boa resposta da cultura à fertilização
Alto	101–200	57–115	Disponibilidade de P elevada	Reduzir ou suspender a fertilização fosfatada, de acordo com a produção esperada
Muito alto	> 200	>115	Disponibilidade de P muito elevada	Reduzir ou suspender a fertilização fosfatada mineral, de acordo com a produção esperada

Adaptado de Calouro et al., (2022). Manual de Fertilização das Culturas, INIAV

Como interpretar os resultados do $pH_{(H2O)}$

Classe	pH (H_2O)	Interpretação	Ação recomendada
Muito ácido	≤ 4,5	Toxicidade de Al e Mn; bloqueio de P e Mo	Corrigir com calagem (aplicação de calcário)
Ácido	4,6 - 5,5		
Pouco ácido	5,6 - 6,5	Crescente disponibilidade de P	Sem necessidade de correção da reação do solo
Neutro	6,6 – 7,5	Máxima disponibilidade de P	Sem necessidade de correção da reação do solo
Pouco alcalino	7,6 - 8,5	Início de fixação de P em fosfatos de cálcio	Sem necessidade de correção da reação do solo
Alcalino	8,6 – 9,5	Forte fixação de P; deficiências de Fe, Mn, Zn	Corrigir com enxofre ou MO
Muito alcalino	>9,5		

Adaptado de Calouro et al., (2022). Manual de Fertilização das Culturas, INIAV

Nota: Em solos com pH entre 6,0 e 6,8 a disponibilidade de P é máxima e a atividade microbiana é mais intensa.

Como interpretar os resultados da M.O.

Classe	MO (%)	Impacto	Ação recomendada
Muito baixo	< 1,0	P orgânico indisponível	Aplicar corretivos orgânicos para aumentar o teor de MO: compostos, estrumes, chorumes em mistura com biomassa estruturante (florestal, matos, palha, serradura, etc.) e P mineral, se necessário
Baixo	1,0-2,0	P orgânico pouco disponível	Aplicar corretivos orgânicos para aumentar o teor de MO e aplicar P mineral, se necessário
Médio	2,0-3,5	Boa atividade microbiana; Média disponibilidade de P orgânico	Aplicar a quantidade de corretivos orgânicos necessários para manter o teor em MO e aplicar P mineral, se necessário
Alto	3,5-5,0	Elevada reserva de P orgânico; a disponibilidade deste nutriente depende da taxa de mineralização do P	Aplicação de menores quantidades de P mineral
Muito alto	>5,0	Reserva importante de P	Monitorizar os teores de P

		orgânico; a disponibilidade deste nutriente depende da taxa de mineralizaçã do P	assimilável porque poderão atingir valores elevados, aumentando o risco de perdas por lixiviação e/ou arrastamento/erosão. Aplicar apenas a quantidade mínima indispensável de P mineral

Adaptado de Calouro et al., (2022). Manual de Fertilização das Culturas, INIAV

Exemplos de combinações de fatores que condicionam ou favorecem a disponibilização do P *(se aplicável)*

A disponibilidade efetiva do P dependerá da combinação dos três fatores: teor de P assimilável, pH e teor de M.O. no solo

- **pH baixo + P_2O_5 alto** → P está presente em grande quantidade, mas bloqueado (indisponível para as plantas porque insolubiliza-se quando o pH é baixo). Realizar calagem antes da fertilização fosfatada;
- **MO baixa + P_2O_5 médio** →Aumentar o teor de M.O. do solo e, se necessário, reforçar a aplicação de P mineral.
- **pH 6,0–6,8 + MO > 2%** → Condições favoráveis para a maior disponibilidade do P para as plantas; eficiência máxima da fertilização.
- **pH > 7,3 + MO < 1 % + P_2O_5 médio ou baixo** → Condições frequentes em solos calcários, com o P bloqueado pelo cálcio proveniente dos carbonatos e reserva de P orgânico escassa. Aumentar a MO e complementar com adubos fosfatados quando se aplicarem outros nutrientes, como azoto ou potássio.

1.2 Proteção e conservação do solo

Melhoria do Solo

A produção de patos em pastoreio expõe o solo à compactação por pisoteio e à concentração localizada de dejetos. Prevenir a sua degradação física, biológica e química é essencial para equilibrar o balanço de P. Recomenda-se a rotação de parques, o repouso periódico do solo e a manutenção de um coberto vegetal denso e permanente.

Proteção contra a erosão

Manter o coberto vegetal permanente e denso, reforçando sobretudo nas zonas de maior declive e junto às linhas de água; estabelecer faixas tampão vegetadas sem adubação próximo das linhas de água; evitar a sobrelotação, ainda que temporária, porque destrói o coberto vegetal; instalar barreiras vegetais nas margens das linhas de água, servindo de faixas de contenção para retardar o escoamento superficial e reter o P particulado.

Vantagens

- Redução das perdas de P particulado por erosão hídrica;
- Maior infiltração e menor escoamento superficial;
- Proteção da estrutura e da atividade biológica do solo;
- Proteção das massas de água superficial;
- Maior resiliência do coberto ao pisoteio dos animais.

Desvantagens

- Exige gestão ativa da rotação de parques e do encabeçamento;
- Custo de instalação e manutenção das faixas/barreiras tampão;
- Redução temporária da área de pastoreio disponível.

Resumo dos efeitos da ***Melhoria da condição do Solo e da Pastagem*** sobre o P no solo e na água

Prática	Efeito do P no solo	Efeito do P na água
Proteção do solo contra a erosão	Retém o P particulado no solo, promove e preserva a agregação	Reduz a exportação de P particulado para as massas de água
Aumento da biodiversidade da pastagem	Melhora o ciclo de nutrientes e a absorção do P pela vegetação porque estimula os processos simbióticos como a micorrização	Menor escoamento superficial de P; maior filtração e depuração da água

1.3 Utilização do solo e gestão de resíduos

Pastagem

A pastagem constitui simultaneamente a base alimentar dos patos e a principal proteção física do solo. Um coberto permanente e bem desenvolvido intercepta a energia da chuva, favorece a infiltração da água e reduz o escoamento superficial, limitando as perdas de P. Os principais benefícios são a proteção contra a erosão, a manutenção da atividade biológica e

o aproveitamento do P depositado pelos dejetos. As maiores dificuldades resultam do pisoteio intenso, da concentração de animais e da sazonalidade, que podem degradar o coberto. A boa gestão assenta na rotação de parques, na adequação do encabeçamento e na ressementeira das zonas degradadas.

Instalação e conservação

A pastagem instala-se por sementeira de misturas bem adaptadas (gramíneas e leguminosas) às condições edafo-climáticas, garantindo cobertura rápida e densa. A conservação assenta na rotação dos parques, no respeito por períodos de repouso, na ressementeira das zonas de solo exposto pelo pisoteio e no controlo do encabeçamento, de modo a manter a cobertura do solo permanente ao longo do ano

Vantagens

- Cobertura permanente que protege o solo contra a erosão;
- Aproveitamento pela vegetação do P proveniente dos dejetos;
- Melhoria da infiltração e da atividade biológica do solo.

Desvantagens

- Degradação do coberto por pisoteio e sobrelotação;
- Necessidade de ressementeira e de gestão da rotação;
- Dependência das condições climáticas sazonais.

Resíduos

Os resíduos dominantes são as camas (mistura de material vegetal absorvente com os dejetos) e os efluentes resultantes da limpeza das instalações e dos pontos de água. São materiais muito ricos em P e azoto, com baixa relação C/N, pelo que a sua aplicação direta e não controlada representa risco elevado de contaminação. A valorização passa pela estabilização prévia (compostagem), pelo armazenamento adequado e pela aplicação ajustada ao Balanço de P. O excedente que ultrapasse a capacidade de carga dos solos da exploração deve ser exportado

Tipo de Resíduos	Ação recomendada
Camas avícolas (material vegetal + dejetos)	Compostar para estabilizar; aplicar segundo o Balanço de P; exportar o excedente
Efluentes líquidos (lavagens, pontos de água)	Armazenar em estrutura impermeável; analisar o teor de P; aplicar respeitando os limites legais
Cadáveres e subprodutos animais	Encaminhar para destino legal autorizado (não aplicar ao solo)

Chorume de patos de engorda

O chorume de patos é proveniente dos excrementos dos patos, das águas de lavagem e das precipitações atmosféricas sobre as instalações de armazenamento não cobertas. O teor de matéria seca influencia diretamente a concentração de elementos nutrientes, nomeadamente o P, e depende principalmente de: i) quantidade de água potável consumida; ii) da quantidade de água de lavagem das instalações e iii) da frequência de limpeza dos equipamentos.

A composição média do chorume de patos é a seguinte (por kg de produto bruto):

Parâmetro	Concentração média (g/kg)
Matéria seca	69
Matéria orgânica	61,1
Carbono orgânico	30,6
N total (Kjeldahl)	4,6
N-NH_4	1,3
N orgânico	3,3
P_2O_5	1,0
K_2O	1,3

Dose de referência e quantidade de P aplicada

Para uma aplicação de referência de 15 m^3/ha de chorume de pato gordo, são adicionados os seguintes elementos por hectare:

Matéria seca	**1,034 t/ha**
Matéria orgânica	0,920 t/ha
C orgânico	0,459 t/ha
N total (Kjeldahl)	69 kg/ha
$N^-NH_4^+$	19,5 kg/ha
N orgânico	49,5 kg/ha
P_2O_5	15 kg/ha disponível no ano da aplicação
K_2O	19,5 kg/ha disponível no ano da aplicação

A dose de 15 m^3/ha deverá ser complementada para cobrir eventuais necessidades de P_2O_5 e K_2O.

Pontos Críticos

- Os efluentes da criação de patos de engorda são classificados como fertilizantes de **tipo II**, o que implica períodos de espalhamento em zonas vulneráveis mais restritas do que para os fertilizantes **de tipo** I.
- Os dejetos provenientes da criação de patos que não tenham sido submetidos a um tratamento prévio devem ser enterrados imediatamente após a aplicação.
- Para tratar os dejetos, deve ser respeitado um prazo de 90 dias (tratamento natural), ou pode ser aplicado um tratamento térmico (metanização, aquecimento) antes da aplicação.

Compostagem

A compostagem das camas avícolas, geralmente com excesso de azoto e P face ao carbono, exige a adição de materiais estruturantes ricos em carbono (palha, estilha, matos) para equilibrar a relação C/N. A estabilização prévia reduz a solubilidade do P, diminui os odores e o risco de perdas por escoamento, e produz um corretivo orgânico mais seguro e homogéneo para aplicação no solo, aumentando imediatamente o teor de MO estabilizada em substâncias húmicas.

Armazenamento

As camas e os efluentes devem ser armazenados em estruturas impermeáveis e cobertas (nitreiras, lagoas estanques), dimensionadas para os períodos em que a aplicação não é possível. Estas estruturas evitam lixiviações e escoamentos típicos de poluição difusa, permitem a estabilização e o ajuste da aplicação ao calendário agrícola. O excedente que ultrapasse a capacidade de retenção e/ou de valorização na própria exploração agrícola, deverá ser exportado.

Benefícios da valorização dos resíduos

A valorização dos resíduos produzidos na exploração fecha o ciclo de nutrientes, transformando um passivo ambiental num recurso. A reincorporação de M.O. estável aumenta a funcionalidade e a resiliência do solo, melhora a estrutura e a capacidade de retenção de água e nutrientes, e estimula a biodiversidade microbiológica — designadamente os fungos micorrízicos, essenciais à absorção eficiente do P pelas plantas. Aumenta-se, assim, a eficiência de utilização do P e reduz-se o risco de contaminação, que é sempre maior quando os resíduos são aplicados sem tratamento prévio.

Boas práticas recomendadas para a gestão do solo
Manter o coberto vegetal (pastagem) permanente e denso ao longo de todo o ano, como proteção física do solo.

Praticar a rotação de parques e o repouso do solo para evitar a compactação e a concentração localizada de P.
Compostar as camas avícolas com materiais estruturantes ricos em carbono, antes da aplicação ao solo.
Aplicar os corretivos orgânicos segundo o Balanço de P e exportar para fora da exploração agropecuária, o excedente que ultrapasse a capacidade de carga dos solos.
Incorporar biochar, testado e validado no âmbito do projeto Phos4Cycle, para aumentar a CTC e a retenção de P, reduzindo as perdas para as massas de água.
Instalar e manter faixas tampão cultivadas sem adubação junto às linhas de água.

2 Fertilização

2.1 -Princípios gerais:

- Análises de solo periódicas e Balanço de P, contabilizando obrigatoriamente o P incorporado pelos dejetos depositados pelos animais e pelos efluentes aplicados;
- Nos solos com teores de P "elevado" a "muito elevado" — situação frequente em sistemas agropecuários intensivos — repor apenas o P exportado pela vegetação, suspendendo a adubação fosfatada mineral;
- Estabilizar e analisar os efluentes e/ou as "camas dos patos" antes da aplicação, ajustando a dose ao estritamente necessário.

2.2 - Época de aplicação dos fertilizantes

A aplicação de corretivos orgânicos deve ser feita em períodos de crescimento ativo da pastagem, em que a absorção de P é máxima, e fora das épocas de maior risco de escoamento (época de chuvas e/ou quando o solo está saturado de água). Nos solos ácidos, a calagem deve preceder a aplicação dos fertilizantes para melhorar a disponibilidade do P. Deve ainda evitar-se a aplicação nos picos de encabeçamento, quando a deposição direta de dejetos dos animais poderá satisfazer ou exceder as necessidades da pastagem em P.

2.3 - Técnica de aplicação dos fertilizantes

Privilegiar a distribuição uniforme e superficial dos corretivos compostados sobre a

pastagem, seguida de incorporação ligeira sempre que possível, para reduzir as perdas por escoamento. Evitar a aplicação em faixas concentradas ou junto às linhas de água. Ajustar o equipamento para garantir uniformidade e doses controladas.

2.4 - Tipo de fertilizantes fosfatados

Adubos minerais: os superfosfatos apresentam o P em formas solúveis; o seu uso deve reservar-se às situações de carência comprovada, raras nestes sistemas.

Adubos orgânicos e organominerais: libertação lenta e progressiva do P, adequada à pastagem.

Corretivos orgânicos: as camas avícolas e os seus compostos são a principal fonte de P do sistema; o seu contributo deve ser sempre quantificado e contabilizado no plano de fertilização. Dada a riqueza em P destes materiais, a fertilização mineral fosfatada é, na maioria dos casos, dispensável.

IMPORTANTE: Obrigatória a consulta dos diplomas legais aplicados, nomeadamente para o caso dos corretivos orgânicos.

Pontos Críticos

- **Dose máxima de azoto de origem orgânica**: Nas Zonas Vulneráveis a Nitratos (ZVN) a aplicação máxima permitida segundo a directiva 91/676/CEE é de 170 kg N/ha/ano — este limite condiciona indiretamente a quantidade de P aplicada.
- **Análise do efluente**: Conhecer a concentração de P total antes da aplicação; calcular o balanço P aplicado vs. P exportado pela cultura.
- **Época e condições de aplicação**: Evitar aplicações de fertilizantes em solos saturados, com declive maior do que 8% ou antes de precipitação prevista e, para as ZVN garantir a faixa tampão de 10–50 m em relação às linhas de água.

Boas práticas na gestão da fertilização dos solos na produção avícola
Conhecer a concentração de P total e assimilável no solo e nos efluentes antes da aplicação.
Calcular o Balanço de P contabilizando o P depositado pelos animais e o aplicado através dos corretivos.
Suspender a adubação fosfatada mineral nos solos com P alto a muito alto.
Evitar aplicações em solos saturados, com declive > 8% ou antes de precipitação prevista.
Garantir faixa tampão de 10–50 m em relação às linhas de água, revestida de vegetação.
Estabilizar (ou compostar) as camas e efluentes antes da aplicação no solo.

Monitorizar regularmente o P do solo a profundidade superior à da média das raízes da pastagem.

3 Proteção das massas de água

A água confere mobilidade ao P, seja dissolvido (por lixiviação e/ou escoamento superficial), seja na forma particulada (escoamento e/ou erosão hídrica). Nos sistemas avícolas em pastoreio, a deposição direta de dejetos e a concentração de animais junto a pontos de água, tornam a proteção das massas de água particularmente crítica. O impacto manifesta-se através da eutrofização das águas superficiais e da contaminação de aquíferos. É fundamental manter as faixas tampão cultivadas (largura mínima de 10 m) junto às linhas de água, impedir o acesso direto dos animais aos cursos de água, e assegurar boas taxas de infiltração através do coberto vegetal permanente e contínuo.

3.1 - Gestão da rega

Pode ser necessário recorrer à rega para a manutenção da pastagem. Esta deve ser realizada com elevada eficiência de aplicação e elevada uniformidade de distribuição, evitando o encharcamento e o escoamento superficial que arrastam o P em profundidade e à superfície do solo, respetivamente. As dotações de rega terão de ser ajustadas à capacidade de campo do solo.

3.2 Outros fatores

O risco potencial de contaminação das massas de água por P poderá aumentar exponencialmente quando vários dos fatores referidos nas secções anteriores se conjugam. A tabela que segue ajuda a fazer um rápido diagnóstico no qual se pode identificar a presença ou a ocorrência de um conjunto de fatores de risco. De acordo com a quantidade de fatores de risco identificados e conjugados, o nível de risco para a contaminação por fósforo poderá ser classificado de ***reduzido*** a ***muito elevado***.

Fatores de risco	Fatores identificados	Risco de poluição

Solo de textura grosseira/ligeira ou fina/pesada (arenoso ou argiloso/limo-argiloso)	X	***Elevado***
MO menor ou igual a 2%	X	
pH menor do que 6		
P_2O_5 (Égner-Riehm-AL) maior ou igual a 200 ppm ou **P_2O_5** (Olsen) maior ou igual a 115 ppm	X	
Toalha freática superficial: profundidade igual ou menor a 2 m durante a época estival (época seca)		
Declive da parcela maior ou igual a 8%		
Rega por alagamento ou identificado escorrimento superficial da água de rega	X	
Solo compactado: macroporosidade menor do que 10%		
Cobertura do solo: nula ou fraca		
Clima de elevada precipitação: com eventos frequentes de chuva intensa e concentrada		

Escala do nível de "Risco de poluição por fósforo"	
Reduzido: até **2** fatores	***Médio:*** **3** fatores
Elevado: **4** fatores	***Muito elevado:*** Maior que **5** fatores

Nota: Tabela utilizada a título de exemplo, devendo ser adaptada à realidade de cada sistema para autodiagnóstico do risco de poluição das massas de água com P.

Boas práticas recomendadas para a proteção das massas de água
Instalar e manter faixas tampão cultivadas (mínimo 10 m de largura) junto às linhas de água
Impedir o acesso direto dos patos aos cursos de água e às zonas ripícolas (vedação a 10–15 m da margem)
Manter coberto vegetal permanente para maximizar a infiltração e minimizar o escoamento superficial
Localizar comedouros, bebedouros e abrigos, afastados das linhas de água e das zonas de maior declive
Armazenar camas e efluentes em estruturas impermeáveis e cobertas
Monitorizar o P nas massas de água adjacentes
Instalar e manter faixas tampão cultivadas (mínimo 10 m de largura) junto às linhas de água

4 Gestão da produção avícola

A gestão da produção avícola tem impacto direto no risco de contaminação por P. A localização das estruturas, o maneio dos parques e o bem-estar animal condicionam a quantidade, a distribuição e o destino dos efluentes. Uma produção eficiente e bem planeada reduz a carga de P por unidade de produto e facilita a valorização segura dos resíduos.

4.1 Gestão do bem-estar animal

O bem-estar animal e a eficiência produtiva estão associados a uma menor carga de efluentes por animal e a uma deposição mais homogénea de dejetos. Densidades adequadas, acesso a pastagem de qualidade e maneio que evite o *stress* animal, reduzem a concentração localizada de nutrientes e facilitam a gestão dos efluentes, contribuindo indiretamente para a mitigação do risco de contaminação por P.

Localização

A localização das estruturas de alojamento e de armazenamento de efluentes (nitreiras, lagoas, eventuais estações de tratamento) é determinante para a gestão do risco. Devem situar-se afastadas das linhas de água, das zonas de maior declive e de áreas com toalha freática elevada, em solos com boa capacidade de retenção. Uma localização criteriosa otimiza a recolha e a valorização dos efluentes, minimiza os trajetos de transporte e reduz o risco de escoamento e lixiviação de P, garantindo simultaneamente o bem-estar animal e um destino seguro para os resíduos.

Vantagens

- Minimiza o risco de escoamento e lixiviação de P;
- Facilita a recolha e a valorização dos efluentes;
- Reduz os trajetos de transporte dos resíduos.

Desvantagens

- Pode exigir investimento em infra-estruturas e o seu reposicionamento;
- Eventuais condicionalismos devidos à topografia e/ou configuração da exploração.

Alojamentos

As estruturas de alojamento devem ter pavimentos e sistemas de recolha que evitem perdas de efluentes, que facilitem a remoção e o encaminhamento das camas para compostagem, e de dimensionamento adequado à densidade animal, garantindo o bem-estar e reduzindo a

concentração de dejetos. Os alojamentos podem ser pavilhões fixos ou móveis e devem ter, pelo menos, um terço da superfície do solo ocupada pela estrutura de construção sólida.

Vantagens

- Recolha eficiente e controlada das camas e efluentes;
- Melhor bem-estar animal;
- Facilita o tratamento de estabilização e valorização dos resíduos.

Desvantagens

- Custo de construção e manutenção;
- Necessidade de limpeza e gestão regular.

Como implementar:

Crescimento

1.ª fase: Parques de aquecimento (2-3 semanas)

2.ª fase: Com acesso contínuo ao ar livre

Instalação dos parques

A dimensão dos parques, o encabeçamento e a frequência de rotação, devem ser definidos para distribuir uniformemente a deposição de dejetos e evitar a saturação localizada do solo em P. Parques mais pequenos com rotação frequente (pastoreio de pressão controlada) favorecem a regeneração da pastagem e a distribuição da carga de P, reduzindo o risco de contaminação por P.

Vantagens

- Distribuição homogénea do P depositado;
- Regeneração da pastagem e proteção do solo;
- Redução da saturação localizada e do arrastamento superficial de P.

Desvantagens

- Exige infra-estrutura de vedação e gestão acrescida;
- Maior necessidade de planeamento e mão-de-obra.

Densidade animal ou encabeçamento

O encabeçamento animal adequado nas áreas interiores, exteriores e dos ninhos para aves, permite o fácil acesso das aves aos parques exteriores, aos pavilhões e contribui para o bem-estar geral das aves. A área interior corresponde à superfície líquida disponível para os

animais e a área exterior corresponde à área disponível para o pastoreio em rotação.

Vantagens

- O encabeçamento adequado maximiza a produção, garantindo o bem-estar animal;
- Controlo natural de infestantes e pragas da pastagem;
- Promove a adubação natural;
- Menor compactação e efeito de mobilização superficial do solo.

Como implementar:

Limite de aves: Máximo de 8 aves por m^2 (em alojamento)
Limite de peso: Não deve exceder o 35 kg de peso vivo para patos *Mulard*
Limite por instalação: Número máximo por cada instalação que tenha coberto vegetal é de 3200 patos *Mulard*
Densidade exterior: Área mínima de 3 m^2 por pato ao ar livre (patos *Mulard)*

IMPORTANTE: Obrigatória a consulta dos diplomas legais aplicados aos patos (Anas platyrhynchos dom., cairina muschata), patos de pequim e patos de Barbary.

- A superfície disponível em rotação, por n.º de cabeças (em m^2) não pode ultrapassar o valor limite de efluentes depositados no terreno, que é o equivalente a 170 kg de N/ha/ano.

4.2 Gestão da alimentação

A composição nutricional da ração das aves, a sua digestibilidade e eficácia da absorção e assimilação dos nutrientes, será um aspeto relevante para reduzir a excreção de P pelos animais. A maior parte do P presente nos cereais e oleaginosas encontram-se na forma de P fítico (ácido fítico), que é eliminada nas excreções sem ser utilizada pelo animal. Por

serem monogástricos, as aves não são capazes de utilizar eficazmente o P fítico. A incorporação de fitase na ração é crucial para reduzir a excreção de P pelos animais.

Fitase e redução da excreção de P

A fitase é uma enzima que quebra o ácido fítico, libertando o P e outros nutrientes contidos nos fitatos. A adição de fitase microbiana pode ser incorporada durante o fabrico do alimento sob a forma de pó ou líquido. A utilização da fitase microbiana melhora a digestibilidade e a assimilação do P total promovendo assim uma maior absorção de P no intestino delgado das aves, reduzindo a necessidade de ingestão de P mineral.

Os aumentos de digestibilidade do P nos cereais e oleaginosas usadas para a ração, geralmente são: 17 % para o bagaço de girassol; 20 a 24 % para o milho e o bagaço de soja; e 50 a 55 % para o trigo e a cevada.

Mecanismo de ação da fitase

O **ácido fítico** é considerado um antinutriente porque liga-se com os minerais (Zn, Fe, Ca, Mg) e a proteínas, formando complexos insolúveis, que o animal não consegue absorver.
Na dosegem padrão (cerca de 500 FTU/kg), a fitase reduz o ácido fítico do alimento, mas não na sua totalidade. Portanto, mesmo com a utilização desta enzima, ainda conserva algum poder antinutricional.
Na sobredosagem de fitase (≥ 1 500 FTU/kg), há a destruição quase que completa do ácido fítico, libertando não só mais P, mas também outros nutrientes, como o zinco, o cobre e o sódio. Isto traduz-se i) numa melhor utilização dos micronutrientes, e ii) na redução das necessidades de suplementação mineral inorgânica.

A suplementação com fitase pode reduzir a excreção de P nas fezes em 30–50%, diminuindo a pressão de P nos solos recetores de efluentes. Estas moléculas podem quelatar minerais como o ferro, o zinco e o cálcio, e inibir a atividade da pepsina.

- A incorporação de fitases na ração das aves aumenta a disponibilidade do P vegetal em 20 a 30 % nos frangos de corte, galinhas poedeiras e perus. Este benefício é diretamente aplicável à criação de patos.
- Regra geral, uma diminuição de 0,1 % do P total nos alimentos através da utilização de fitase traduz-se numa diminuição da excreção de P superior a 20 % para as galinhas poedeiras e para os frangos de carne.
- As medidas preventivas que podem ser tomadas logo na alimentação dos patos, reduzem as quantidades de elementos fertilizantes excretados pelos animais e, consequentemente, reduzem a necessidade de medidas corretivas posteriormente no

ciclo de produção, quando esses elementos constituem risco de contaminação ambiental.

Fosfatos alimentares e outros aditivos

A adição de fosfatos alimentares digeríveis, bem como de outros aditivos como enzimas, estimuladores de crescimento e microrganismos, permitem manter o crescimento dos animais ao mesmo tempo que se reduz a quantidade de alimento, contribuindo para a redução das descargas de P no ambiente. Estes aditivos atuam em sinergia com a fitase para otimizar a utilização dos nutrientes e reduzir as descargas dos mesmos através dos efluentes pecuários.

Boas práticas recomendadas na gestão da produção avícola
Reduzir o P na origem através da alimentação, com a utilização de fitase e adequação das rações, diminuindo a excreção de P.
Dimensionar parques e encabeçamento para distribuir uniformemente a deposição de P.
Praticar a rotação frequente de parques com períodos de repouso da pastagem.
Localizar alojamentos e estruturas de deposição de efluentes, afastados das linhas de água.

4. Referências Bibliográficas

Diretiva n.º 91/676/CEE, do Conselho, de 12 de dezembro de 1991, relativa à proteção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola.

European Commission. (2014). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: On the review of the list of critical raw materials for the EU and the implementation of the Raw Materials Initiative (COM/2014/0297 final). https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52014DC0297

European Commission. (2019). The European Green Deal. COM(2019) 640 final. European Commission.

European Parliament and Council of the European Union. (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities, L 327, 1–73.

European Commission. (2019). The European Green Deal. COM(2019) 640 final. European Commission.

European Commission. (2020a). Farm to Fork Strategy: For a fair, healthy and environmentally-friendly food system. COM(2020) 381 final. European Commission.

European Commission. (2020b). A new Circular Economy Action Plan: For a cleaner and more competitive Europe. COM(2020) 98 final. European Commission.

HORTA, Carmo; TORRENT, J. (2010) - Dinâmica do fósforo no solo: perspectiva agronómica e ambiental. Castelo Branco: Edições IPCB. ISBN 978-989-8196-10-1.

Parlamento Europeu & Conselho da União Europeia. (2025). Diretiva (UE) 2025/2360 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 12 de novembro de 2025, relativa à monitorização e resiliência dos solos. Jornal Oficial da União Europeia. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2025/2360/oj/eng

Portugal. Ministério do Ambiente e Ministério da Agricultura, Florestas e Desenvolvimento Rural (2018). Despacho n.º 1230/2018 - Aprova o Código de Boas Práticas Agrícolas. Diário da República n.º 25/2018, Série II.