

(E1.2.1.) ESTRATÉGIA PARA A GESTÃO RESPONSÁVEL DOS FOSFATOS

Interreg
Sudoe



Co-funded by
the European Union

Phos4Cycle

Índice

1. Introdução.....	3
1.1. Enquadramento.....	3
1.2. Objetivos.....	6
1.3. Estrutura.....	7
2. Visão, Objetivos e Governança.....	7
2.1 Visão.....	7
2.2 Objetivos.....	8
2.3 Governança.....	9
3. Enquadramento Regulamentar e Estratégico.....	10
4. Eixos de Atuação Estratégica.....	12
4.1 Monitorização Integrada.....	12
4.2 Modelo de Previsão.....	15
4.3 Ação Preventiva e Boas Práticas.....	20
5. Estratégias Agrícolas.....	21
5.1 Prática Tradicional.....	21
5.2 Práticas Alternativas.....	22
6. Plano de Ação.....	23
6.1 Medidas.....	23
6.2 Programação.....	26
6.3 Instrumentos de Apoio e Financiamento.....	26
6.4 Indicadores.....	26
7. Plano de Formação.....	27
7.1 Objetivos do Plano de Formação.....	27
7.2 Público-Alvo e Conteúdos.....	27
7.3 Estrutura das Ações Formativas.....	28
7.4 Avaliação e Verificação dos Resultados.....	29
8. Referências Bibliográficas.....	30

1. Introdução

1.1. Enquadramento

O espaço SUDOE enfrenta desafios complexos de ordem territorial, económica e ambiental, os quais são intensificados pelas suas características, um forte setor primário e atividade pecuária e uma extensa superfície agrícola, a gestão das práticas agrícolas e agropecuárias tem implicações diretas e significativas na qualidade dos recursos hídricos e na saúde dos solos da região.

Na perspetiva agrícola, as fragilidades na gestão dos solos, em particular, a aplicação desajustada de fertilizantes fosfatados nas explorações agrícolas e agro-pecuárias, conduzem à acumulação excessiva de fósforo no solo, levando à sua degradação e à contaminação das massas de água. Este fenómeno, frequentemente denominado por poluição difusa de origem agrícola e agropecuária, é agravado pela erosão hídrica, pelos eventos de precipitação intensa e pela configuração topográfica das bacias hidrográficas, que facilitam o transporte de fósforo particulado e dissolvido para as massas de água. Na perspetiva das massas de água, o fenómeno de eutrofização resultante de práticas agrícolas menos adequadas, compromete a quantidade e qualidade da água, reduz a biodiversidade aquática e desequilibra os serviços dos ecossistemas das bacias hidrográficas. Para além da eutrofização das águas superficiais, o fósforo pode também atingir as massas de água subterrâneas, ainda que por mecanismos distintos e, em regra, menos expressivos. No entanto, a contaminação dos aquíferos por fósforo tende a ser tão persistente quanto difícil de reverter. Muitas das massas de água do espaço SUDOE apresentam já pressões relevantes associadas à poluição por fosfatos, em particular em zonas com elevada densidade agrícola, de explorações pecuárias, designadamente leiteiras, avícolas e de produção de cereais.

Paralelamente, a dependência da União Europeia em relação a rochas fosfatadas é elevada, concentrada num número reduzido de países fornecedores, tornando a cadeia alimentar europeia suscetível a choques geopolíticos e a uma forte volatilidade de preços que ameaça a segurança do abastecimento agrícola. De acordo com várias orientações europeias, nomeadamente no reforço de soluções assentes na circularidade e na valorização local dos fluxos de fósforo existentes, a gestão eficiente do fósforo nos sistemas agrícolas e agropecuários representa não apenas uma necessidade ambiental, mas também uma oportunidade estratégica de afirmação da competitividade do setor primário

européu, e um contributo para a proteção dos ecossistemas e para a soberania alimentar da região SUDOE.

O “*Diagnóstico*”, realizado inicialmente permitiu caracterizar as pressões sobre as massas de água e o solo associadas às práticas agropecuárias no espaço SUDOE, identificar as zonas sensíveis e vulnerabilidades territoriais, e mapear o quadro regulamentar e as iniciativas existentes. Os principais resultados desse diagnóstico fundamentam as opções estratégicas e setoriais desenvolvidas neste documento.

A “Estratégia para a Gestão Responsável dos Fosfatos” procura contribuir para a resposta necessária a um problema ambiental de elevada relevância, mas menos conhecido em comparação com a poluição por nitratos. A contaminação da água e do solo por fosfatos de origem agropecuária tem sido menos explorada, ao nível das políticas agroambientais europeias, não obstante o seu impacto significativo e crescente na qualidade das massas de água e na integridade dos ecossistemas aquáticos da região SUDOE.

Dar visibilidade ao problema do fósforo, dotá-lo de instrumentos técnicos e traduzi-lo em orientações estratégicas concretas e territorialmente adaptadas é, em última análise, o contributo essencial que o projeto Phos4Cycle procura oferecer. Este contributo construído através de um processo de mudança dinâmico, sequencial e adaptativo (Figura 1), baseia-se em três dimensões articuladas, os pressupostos que tornam a mudança possível, a cadeia de valor do conhecimento, que vai do diagnóstico à proteção dos ecossistemas, passando pela produção de conhecimento, pelo desenvolvimento de soluções e pela capacitação de técnicos e agricultores, e o horizonte de transformação a longo prazo, onde as ações locais convergem para metas europeias de sustentabilidade, economia circular e proteção dos recursos hídricos. O carácter adaptativo do processo permite que o processo aprenda e evolua ao longo do tempo. A sustentabilidade do espaço SUDOE é o resultado de um processo de construção coletiva, gradual e baseado em evidências, onde o conhecimento capacita, a capacitação mobiliza e a ação transforma.



Figura 1 - Projeto Phos4Cycle, cadeia causal desde o diagnóstico até ao impacto no espaço SUDOE.

1.2. Objetivos

Este documento tem como objetivo estabelecer a Estratégia para a Gestão Responsável dos Fosfatos para o espaço SUDOE, contribuindo para prevenir e reduzir a poluição por fosfatos, promovendo práticas agrícolas que favoreçam a proteção, conservação e recuperação dos solos e das massas de água. Trata-se de um instrumento de orientação estratégica que pretende sistematizar e traduzir o conhecimento científico e técnico produzido ao longo do projeto, nomeadamente o resultante da execução dos pilotos nos diferentes sistemas agrícolas e agro-pecuários estudados no âmbito do Phos4Cycle tornando-os mais competitivos.

Do ponto de vista ambiental, o entregável tem como objetivo definir orientações concretas para a monitorização, previsão e redução da poluição por fosfatos proveniente das atividades agrícolas e pecuárias do espaço SUDOE, contribuindo para a proteção, conservação e recuperação dos solos e das massas de água superficiais e subterrâneas afetadas ou em risco de contaminação. Para tal, integra os resultados dos seis pilotos implementados em sistemas produtivos representativos de Portugal, Espanha e França, numa estratégia que identifica as zonas de risco crítico, as práticas de gestão mais eficazes e as medidas preventivas e corretivas prioritárias para cada contexto territorial. Do ponto de vista técnico e operacional, o documento tem como objetivo fornecer às entidades parceiras, aos serviços do setor da agricultura e às autoridades competentes, um quadro de ação estruturado que integre as três soluções desenvolvidas, o Guia de Monitorização de Fosfatos, o Modelo de Previsão do Risco de Contaminação e o Manual de Boas Práticas de Gestão Agropecuária. A estratégia articula estes instrumentos num plano de ação para a adoção efetiva das soluções pelos produtores e pelas organizações do setor. Do ponto de vista da governança e da transferência de conhecimento, o entregável visa apoiar a tomada de decisão aos diferentes níveis (desde a exploração agrícola até às administrações regionais e nacionais), promovendo a integração das recomendações técnicas nos instrumentos de política agroambiental existentes, nomeadamente os Planos de Gestão de Bacia Hidrográfica, os Planos Estratégicos da PAC e os regimes agroambientais e climáticos do PEPAC em Portugal, Espanha e França. Contribui ainda para o cumprimento dos indicadores de desempenho do Programa Interreg SUDOE 2021-2027, designadamente o RCO83 (estratégias e planos de ação desenvolvidos conjuntamente) e o RCR79 (estratégias e planos de ação comuns adotados por organizações, com adoção por cinco entidades do consórcio).

Este documento tem também como objetivo garantir a transferibilidade e a replicabilidade das soluções desenvolvidas no âmbito do Phos4Cycle a outros territórios do espaço SUDOE com características edafoclimáticas e produtivas semelhantes. A abordagem transnacional adotada, que reuniu parceiros de três países com diferentes sistemas produtivos contrastantes assegura que as recomendações estratégicas possuem uma base de evidência robusta e uma amplitude de aplicação que ultrapassa os limites geográficos dos pilotos, contribuindo de forma duradoura para a gestão sustentável do fósforo no espaço SUDOE.

1.3. Estrutura

O presente documento estrutura-se em sete capítulos principais:

Capítulo 1 - Introdução, apresenta o contexto territorial e ambiental, o diagnóstico de contaminação, a relevância do projeto e os objetivos do documento;

Capítulo 2-Visão, Objetivos e Governança, define a visão estratégica, os objetivos gerais e específicos, e o modelo de governança proposto;

Capítulo 3 - Enquadramento Regulamentar e Estratégico, apresenta o quadro regulamentar europeu e nacional de cada um dos países, referindo os principais instrumentos de política europeia e nacional com relevância para a gestão do fósforo no espaço SUDOE;

Capítulo 4 - Eixos de Atuação Estratégica, descreve os três eixos fundamentais da estratégia, monitorização integrada, modelo de previsão, e ação preventiva e boas práticas;

Capítulo 5 - Estratégias Agrícolas, apresenta as estratégias agrícolas habituais e as alternativas para cada sistema produtivo estudado no Phos4Cycle;

Capítulo 6 - Plano de Ação, operacionaliza a estratégia num programa de medidas com cronograma e indicadores;

Capítulo 7 - Plano de Formação, define o quadro formativo para técnicos e agricultores.

2. Visão, Objetivos e Governança

2.1 Visão

A “Estratégia para a Gestão Responsável de Fosfatos”, visa definir orientações para a monitorização, previsão e redução da poluição por fosfatos, através de uma gestão adequada das atividades agrícolas e agropecuárias suscetíveis de contribuir para a acumulação de fósforo nos solos e eutrofização das águas a nível das bacias hidrográficas. A Estratégia a adotar visa maximizar a produtividade agrícola e proteger o solo e os recursos hídricos e baseia-se num equilíbrio rigoroso, entre aplicar as quantidades necessárias de fósforo para as culturas e evitar a sua perda para o ambiente.

A visão que orienta a presente estratégia resulta da urgência de proteger as massas de água do espaço SUDOE e do reconhecimento do fósforo como recurso estratégico escasso, traduzindo-se num compromisso coletivo de transformar a forma como os sistemas agrícolas e agropecuários gerem este nutriente, passando este a constituir um ativo a conhecer, a reter e a valorizar.

"O espaço SUDOE gere o fósforo como recurso estratégico: monitorizando os seus fluxos com rigor científico, prevenindo a sua perda para as massas de água, reciclando-o nas cadeias de valor agropecuárias e capacitando os seus produtores para uma agricultura sustentável, resiliente e competitiva, convertendo um desafio ambiental numa oportunidade estratégica para o setor primário e numa garantia para a proteção dos ecossistemas aquáticos da região."

Esta visão integra três dimensões complementares: a dimensão ambiental, centrada na proteção dos ecossistemas aquáticos e na redução da poluição difusa; a dimensão agronómica, orientada para a eficiência do uso dos nutrientes e para a redução da dependência de fertilizantes minerais importados; e a dimensão socioeconómica, que visa reforçar a competitividade e a sustentabilidade dos sistemas agropecuários do espaço SUDOE. A visão alinha-se com os objetivos do Pacto Ecológico Europeu (European Green Deal, EC, 2019), da Estratégia do Prado ao Prato (Farm to Fork, EC, 2020a), da Diretiva Quadro da Água (Directiva 2000/60/CE) e do Plano de Ação para a Economia Circular da

Comissão Europeia (EC, 2020b), contribuindo para as metas de redução da poluição e de utilização sustentável dos recursos fixadas para 2030 e 2050.

2.2 Objetivos

A “Estratégia para a Gestão Responsável de Fosfatos” tem por base o trabalho desenvolvido ao longo do projeto Phos4Cycle e os resultados obtidos e contribuirá para apoiar os decisores e agentes económicos num quadro de ação que integre as atividades agrícolas e pecuárias numa perspetiva de prevenção e eficiência. Tem como objetivo principal contribuir para a reduzir e mitigar a lixiviação e o escoamento de fosfatos, com origem agrícola e pecuária, para as massas de água do espaço SUDOE, garantindo o cumprimento da Diretiva Quadro da Água e das metas da UE para 2050. Paralelamente permite reduzir a dependência de fertilizantes minerais importados e valorizar os produtos agropecuários garantindo a sua adequação através de práticas sustentáveis.

A “Estratégia para a Gestão Responsável de Fosfatos” contribuirá igualmente para os seguintes objetivos específicos:

- melhorar o conhecimento sobre a dinâmica do fósforo, implementar sistemas de monitorização integrados e replicáveis que permitam aos produtores e às diferentes entidades envolvidas conhecer com precisão os níveis de fósforo no solo e na água, identificar zonas de risco e avaliar o impacto das práticas de gestão
- prevenir a transferência de fosfatos para as massas de água, definir e promover medidas preventivas adaptadas a cada sistema produtivo, baseadas nos resultados dos pilotos, que reduzam significativamente o risco de lixiviação e escoamento superficial de fósforo
- reduzir a dependência de fertilizantes fosfatados minerais, promover a gestão eficiente dos nutrientes, a valorização de efluentes orgânicos e a aplicação de corretivos sustentáveis (como o seja o caso do biochar), reduzindo a aplicação de fertilizantes minerais de síntese e os custos de produção associados.
- capacitar técnicos e agricultores: desenvolver e implementar um plano de formação abrangente que assegure a transferência do conhecimento científico e técnico gerado no projeto para os produtores e para as entidades com responsabilidades na gestão agroambiental.

- apoiar a tomada de decisão e a governança: fornecer às autoridades competentes presentes no território (administrações regionais, entidades gestoras de bacias hidrográficas e organismos do sector agrícola, entre outras) instrumentos técnicos e estratégicos para a integração da gestão do fósforo nas políticas agrícolas e pecuárias, de ordenamento do território e de proteção ambiental.
- promover a transferibilidade e a replicabilidade: garantir que as soluções desenvolvidas no âmbito do Phos4Cycle, Guia de Monitorização, Modelo de Previsão dos Riscos de Poluição, e Manual de Boas Práticas, sejam aplicáveis noutros territórios do espaço SUDOE com condições semelhantes.

2.3 Governança

A implementação da “Estratégia para a Gestão Responsável dos Fosfatos” envolve um modelo de governança baseado em quatro pilares. O primeiro é o envolvimento dos atores, em que os agricultores, técnicos agrícolas, entidades gestoras de bacias hidrográficas e autoridades competentes devem reconhecer-se como participantes na construção e implementação da estratégia, através de processos de consulta nos territórios piloto, com o apoio das cooperativas agrícolas, e da articulação entre os parceiros do consórcio. O segundo é a recolha sistemática de informação orientada para a decisão, a rede de monitorização que fornece dados contínuos sobre a dinâmica do fósforo no solo, nos sedimentos e na água, cuja análise regular sustenta as opções estratégicas, avalia a eficácia das medidas e fundamenta os ajustamentos necessários, sendo partilhada entre todos os parceiros e autoridades competentes. O terceiro é a promoção de interações entre os diferentes níveis e atores do sistema, criando pontes entre o conhecimento científico produzido e a sua adoção prática no terreno. A complexidade da gestão do fósforo, envolvendo três países com enquadramentos regulatórios distintos, exige mecanismos que facilitem a troca de experiências, a aprendizagem mútua e a transferência de conhecimento entre territórios. O quarto é a capacitação técnica, a adoção efetiva das boas práticas depende diretamente das competências de quem as aplica, pelo que assegurar a formação de técnicos e agricultores, disponibilizar ferramentas de apoio à decisão acessíveis e manter atualizado o conhecimento disponível constituem condições indispensáveis para que a estratégia produza resultados concretos e duradouros no terreno.

A estrutura de governança proposta organiza-se em quatro níveis. Ao nível transnacional, o consórcio Phos4Cycle, liderado pelo ITAGRA.CT e reunindo

todos os beneficiários de Portugal, Espanha e França, assegura a coordenação da estratégia, a harmonização metodológica e o reporte ao Programa Interreg SUDOE. Ao nível nacional e regional, as administrações competentes de cada país, Gobierno de La Rioja, Ministère de l'Agriculture e, em Portugal, INIAV (Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I.P) e ARH Centro (Administração de Região Hidrográfica do Centro), são responsáveis pela transposição das recomendações para as políticas nacionais e pela sua integração nos Planos de Gestão de Bacia Hidrográfica e nos Planos Estratégicos da PAC. Ao nível setorial e técnico, as entidades académicas, as cooperativas agrícolas e os serviços do setor agrícola asseguram a implementação dos pilotos, a formação de técnicos e agricultores e a transferência do conhecimento gerado. Por fim, ao nível da exploração, os agricultores e criadores de gado são os protagonistas da mudança, cabendo-lhes a adoção das boas práticas, o registo de dados e a participação nas ações formativas previstas no projeto.

3. Enquadramento Regulamentar e Estratégico

A gestão sustentável do fósforo nos sistemas agrícolas e agropecuários do espaço SUDOE insere-se num quadro regulamentar europeu e nacional de cada um dos países, que reconhece a poluição por nutrientes como uma das principais ameaças à qualidade das massas de água e à saúde dos solos. A Tabela 1 sistematiza os principais instrumentos de política europeia e nacional com relevância para a gestão do fósforo no espaço SUDOE, identificando para cada um o seu âmbito de aplicação e o contributo específico para os objetivos da presente estratégia

Apesar da existência de instrumentos abrangentes para a proteção das massas de água e dos solos, a regulação específica do fósforo, em contraste com os nitratos, permanece incipiente na maioria dos Estados-Membros. As Zonas Vulneráveis designadas ao abrigo da Diretiva Nitratos são, simultaneamente, as zonas de maior risco de contaminação por fosfatos, mas os Programas de Ação correspondentes focam-se predominantemente nos nitratos, deixando o fósforo sem instrumentos de gestão equivalentes. Esta lacuna reforça a pertinência e a oportunidade do Phos4Cycle: ao desenvolver ferramentas de monitorização, modelos preditivos e estratégias de gestão específicas para o fósforo, o projeto contribui para colmatar uma ausência regulamentar e estratégica de relevância

crecente no espaço SUDOE e diferenciar-se no contexto das iniciativas europeias relevantes para a temática do fósforo, tendo uma abordagem abordagem centrada na prevenção da poluição na fonte, nos sistemas agrícolas e agropecuários.

Tabela 1 – Resumo dos principais instrumentos de política europeia e nacional com relevância para a gestão do fósforo.

Instrumento	Relevância para a Gestão do Fósforo
Diretiva Quadro da Água (2000/60/CE)	Instrumento central da política europeia da água. Define objetivos de qualidade para águas superficiais e subterrâneas, limites para a concentração de fosfatos, monitorização obrigatória e planos de gestão de bacias hidrográficas. O fósforo é controlado como fator determinante da eutrofização.
Diretiva Nitratos (91/676/CEE)	Obriga à designação de Zonas Vulneráveis (ZV) a nitratos e à elaboração de Programas de Ação com limites à aplicação de efluentes pecuários (máx. 170 kg N/ha/ano nas ZV). No espaço SUDOE estão designadas 611 ZV em Espanha (~55% da área agrícola), ~1020 ZV em França (~55% do território agrícola) e 9 ZV em Portugal (~4,5% do território). Estas zonas são também sensíveis à contaminação por fosfatos.
Regulamento (UE) 2019/1009 - Produtos Fertilizantes	Estabelece controlo da qualidade e composição dos fertilizantes, incluindo limites para contaminantes (cádmio, chumbo, arsénio) presentes nas rochas fosfatadas. Os fertilizantes fosfatados convencionais podem conter 2–100 mg/kg de cádmio, com implicações para a saúde do solo.
PAC 2023-2027 - Eco-regimes e Medidas Agroambientais	Integra requisitos de gestão sustentável do solo e dos nutrientes nos pagamentos diretos. Incentiva a adoção de culturas de cobertura, rotações de culturas, fertilização baseada em análises de solo e proteção das linhas de água. Instrumento-chave para a adoção voluntária das medidas desta estratégia.
Diretiva de Monitorização do Solo (Diretiva (UE) 2025/2360 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 12 de novembro de 2025, COM/2023)	Estabelece o objetivo de que, até 2050, todos os solos da UE sejam saudáveis. Reforça a necessidade de monitorização do teor de fósforo no solo, em consonância com as metas de poluição zero do Pacto Ecológico Europeu.
Estratégia do Prado ao Prato (Farm to Fork)	Define metas de redução de 20% no uso de fertilizantes e 50% no uso de pesticidas até 2030. Alinha os objetivos de eficiência no uso do fósforo com as metas de transição para sistemas alimentares sustentáveis.
Legislação Nacional (PT/ES/FR)	Portugal: Lei da Água (Decreto -Lei58/2005), PGRH, Portaria 259/2012 (ZV), Decreto-Lei nº 276/2009, ENEAPAI 2030.

	Espanha: Texto Refundido Ley de Aguas (2001), RD 47/2002, Planos Hidrológicos 2002-2007. França: Code de l'environnement, Loi sur l'eau, SDAGE/SAGE, Programa Écophyto.
--	---

4. Eixos de Atuação Estratégica

A “Estratégia para a Gestão Responsável dos Fósforatos” estrutura-se em torno de três eixos complementares, desenvolvidos a partir dos resultados dos pilotos. Estes três eixos permitem operacional a estratégia, articulando o conhecimento (Eixo 1 – Monitorização Integrada), a abordagem preditiva (Eixo 2 – Modelo de Previsão) e a perspetiva de intervenção prática (Eixo 3 – Ação Preventiva e Boas Práticas).

4.1 Monitorização Integrada

A gestão eficiente do fósforo nos sistemas agrícolas e agropecuários exige, o conhecimento preciso e atualizado dos níveis de fósforo no solo, nos sedimentos e na água. O Guia de Monitorização de Fósforatos desenvolvido com base na experiência dos seis pilotos, constitui o instrumento metodológico de referência para este eixo. A abordagem baseia-se na análise integrada de três matrizes interdependentes, solo, sedimentos e água, à escala da bacia ou sub-bacia hidrográfica. A escala da sub-bacia hidrográfica revelou-se, nos pilotos, como a unidade funcional mais adequada para compreender a dinâmica do fósforo, isto é, para estabelecer uma relação direta entre as práticas de gestão e a resposta do sistema, identificar as zonas de acumulação e transporte de fósforo dentro de cada sistema produtivo, e instalar pontos de monitorização em linhas de drenagem representativas. As áreas das sub-bacias piloto variaram entre 2,10 ha (Aveiro, PT) e 47,16 ha (Fedehesa, ES), demonstrando a aplicabilidade da metodologia em diferentes escalas e sistemas produtivos.

4.1.1 Monitorização do solo

O solo constitui o principal reservatório de fósforo nos sistemas agrícolas e agropecuários. A monitorização do solo baseada num desenho de amostragem sistemático-estratificado, distribuído pelas sub-bacias experimentais tem como objetivo de captar tanto a variabilidade hidrológica como a variabilidade edáfica interna de cada piloto. A profundidade de amostragem considerada foi, em geral, de 0–30 cm, correspondendo ao horizonte superficial onde se concentra a maior parte da dinâmica do fósforo associada à gestão agronómica e pecuária e do solo. A localização dos pontos de amostragem resultou da integração de dois critérios complementares: a delimitação hidrológica das sub-bacias, obtida a partir de Modelos Digitais de Elevação, que identifica as zonas de produção, transporte e acumulação de fluxos; e a variabilidade edáfica interna, caracterizada através de mapas de condutividade elétrica aparente do solo, obtidos por equipamentos de medição proximal instalados em plataformas móveis. Esta combinação permitiu definir unidades relativamente homogêneas dentro de cada sub-bacia e otimizar a representatividade da amostragem, com uma densidade de aproximadamente cinco pontos por sub-bacia, ajustada à superfície e heterogeneidade de cada piloto. Toda a rede de amostragem foi georreferenciada e integrada em ambiente SIG. As campanhas de amostragem estabelecidas de acordo com um protocolo estruturado em seis momentos (uma amostragem inicial de referência, quatro amostragens intermédias em momentos-chave do ciclo de cultivo e uma amostragem final), permitem analisar a variabilidade sazonal e a resposta do sistema às práticas de gestão. Em alguns pilotos, episódios de precipitação intensa durante o inverno e início da primavera condicionaram o acesso às parcelas, reduzindo para três as amostragens intermédias, sem comprometer a validade da análise nem a coerência temporal do acompanhamento. Os protocolos definidos estabelecem a determinação sistemática das seguintes variáveis edáficas: fósforo disponível (método de Olsen), como indicador da fração potencialmente mobilizável, fósforo total, para avaliação da acumulação a longo prazo; textura do solo, fundamental para interpretar a capacidade de retenção de partículas e o risco de erosão, pH e carbonatos, que condicionam a solubilidade e a fixação do fósforo, e matéria orgânica, relacionada com a estabilidade estrutural do solo e a dinâmica dos nutrientes. Os parâmetros analisados permitem avaliar simultaneamente o estado nutricional do solo, o risco de mobilização do fósforo e o efeito das medidas implementadas. O acompanhamento analítico foi sistematicamente complementado com o registo das práticas agronómicas e pecuárias aplicadas em cada sub-bacia (tipo e dose de fertilização, aplicação de biochar, estabelecimento de culturas de cobertura, carga pecuária e distribuição do pastoreio), estabelecendo a relação direta entre o manejo e a evolução das

variáveis monitorizadas, indispensável para a interpretação da dinâmica do fósforo e para o desenvolvimento do modelo preditivo do projeto.

4.1.2 Monitorização dos sedimentos

Os sedimentos atuam como o principal vetor de transporte do fósforo particulado nos sistemas agrícolas e agropecuários. A afinidade do fósforo pelas frações finas do solo implica que, durante eventos de precipitação e erosão, uma parte significativa do fósforo mobilizado se encontra associada aos sólidos em suspensão. A monitorização dos sedimentos permite a caracterização do transporte de fósforo associado a partículas do solo, considerado um dos principais mecanismos de perda de fósforo em sistemas agrícolas e agropecuários. Dado que uma parte significativa do fósforo do solo se encontra adsorvida às frações finas, a sua mobilização está diretamente ligada a processos de erosão e escoamento superficial, pelo que a análise dos sedimentos permite avaliar de forma integrada a exportação de fósforo à escala das sub-bacias. Os pontos de amostragem foram definidos com base em critérios hidrológicos, privilegiando as zonas de convergência dos fluxos de escoamento, em particular os pontos de saída de cada sub-bacia, georreferenciados e integrados em ambiente SIG. O número de pontos por piloto deve ser ajustado à configuração hidrológica de cada sistema: nos pilotos com sub-bacias convergentes num único ponto de saída foi estabelecido um único ponto representativo, nos pilotos com saídas diferenciadas foram definidos vários pontos, permitindo caracterizar de forma independente cada unidade hidrológica. A frequência de amostragem assentou em duas campanhas principais, uma inicial, antes da aplicação das medidas corretivas, e uma final, após a sua implementação, permitindo estabelecer uma comparação direta entre o estado de base e o estado final do sistema e avaliar o efeito das práticas adotadas sobre o transporte de sedimentos e do fósforo associado. As amostras recolhidas foram obtidas com recurso a amostradores de solo que preservam a estrutura original do material e permitem obter colunas contínuas de sedimento até 1,5 m de profundidade. O processamento laboratorial em que as amostras são subdivididas por horizontes ou intervalos de profundidade, possibilitou analisar a distribuição vertical do fósforo, diferenciar zonas de acumulação e transporte, e avaliar a relação entre as frações granulométricas do solo e o material mobilizado, proporcionando uma visão integrada dos processos de erosão, transporte e deposição nas sub-bacias estudadas.

4.1.3 Monitorização da água

A monitorização da qualidade da água definida com base em critérios hidrológicos, dando prioridade às zonas que funcionam como pontos de integração de caudais dentro da sub-bacia, permite garantir a representatividade dos pontos de medição, evitando localizações com interferências externas. Em particular os pontos considerados são pontos de saída das sub-bacias ou de sistemas de drenagem, zonas onde se concentra o escoamento superficial ou a drenagem artificial, localizações representativas do comportamento hidrológico do sistema. A monitorização da qualidade da água nos pontos de saída das sub-bacias permite quantificar a exportação de fósforo para o meio aquático. A monitorização da água implementada através de uma abordagem combinada que integra amostragem pontual e monitorização contínua, permite captar tanto a variabilidade temporal do sistema como os eventos críticos de mobilização de fósforo. Os parâmetros monitorizados foram o fósforo dissolvido e os sólidos em suspensão obtidos em pontos de saída das sub-bacias ou de sistemas de drenagem, selecionados com base na análise hidrológica do território e verificação no terreno. A amostragem pontual, com recolha de amostras para análise laboratorial em momentos representativos, além de ser o sistema clássico de acompanhamento que permite monitorizar a qualidade da água quando não existe um fluxo contínuo, permanente/estável de água, forneceu medições que serviram de referência e de base de calibração para o sistema de medição em contínuo. A monitorização contínua assegurada por estações multiespectrais inteligentes desenvolvidas pela AQUACORP, estimam os parâmetros físico-químicos da água a partir de imagens óticas captadas por câmaras multiespectrais, sem necessidade de contacto direto com a água, contribuindo para o desenvolvimento do modelo de previsão de risco de contaminação por fosfatos. Esta abordagem combinada adotada pelo Phos4Cycle permitiu, em cada piloto, registar a dinâmica do fósforo em condições reais de escoamento e drenagem, identificar picos de concentração associados a eventos hidrológicos e avaliar o efeito das práticas de gestão na exportação de fósforo para as massas de água.

4.1.4 Monitorização complementar em sistemas pecuários

Para sistema pecuários, como seja o projeto-piloto ITAVI, a monitorização é complementada com um conjunto de medidas específicas destinadas a caracterizar a dinâmica do fósforo desde a sua origem no sistema produtivo,

integrando a perspectiva zootécnica com a monitorização ambiental do solo, dos sedimentos e da água. Ao longo do ciclo produtivo, desde a entrada dos animais até à saída e recolha dos dejetos, o registo de indicadores zootécnicos de acompanhamento, incluindo mortalidade diária, peso dos animais, consumo de ração e de água, gestão da cama e condições climáticas, permite contextualizar a produção de dejetos e o seu potencial impacte na acumulação e mobilização do fósforo no sistema. A caracterização do fósforo no interior do sistema produtivo abrange três componentes complementares. Na alimentação, foram determinados o fósforo total, as proteínas, a matéria gorda, o cálcio e o sódio. Nos dejetos, frescos e compostados, o fósforo móvel foi avaliado através de ensaios de percolação que simulam condições de precipitação, estimando a fração suscetível de ser lixiviada ou mobilizada para o meio ambiente. Foi ainda realizado um balanço de massa à escala do sistema, considerando o fósforo ingerido, o fósforo retido no crescimento animal e o fósforo excretado, permitindo quantificar a fração potencialmente transferida para o solo. Ensaaios de mineralização em amostras biológicas complementaram esta análise, avaliando a eficiência na utilização do fósforo pelos animais. Esta abordagem integrada é especialmente relevante em sistemas de pecuária, onde as entradas de fósforo no sistema estão diretamente ligadas à gestão animal, estabelecendo a ligação entre a alimentação, a produção de dejetos e os fluxos de fósforo observados na monitorização ambiental.

4.2 Modelo de Previsão

O desenvolvimento de um Modelo de Previsão do Risco de Contaminação por fosfatos constitui uma das inovações do projeto Phos4Cycle, coordenado pelo ITAGRA.CT com a colaboração de todos os parceiros. O modelo tem como objetivo identificar, com antecedência, os momentos e os locais de maior risco de mobilização e transferência de fósforo para as massas de água, permitindo a adoção atempada de medidas preventivas. O modelo integra dados edafoclimáticos (características do solo, regimes de precipitação, temperatura), de gestão das culturas e das explorações (fertilização, rega, pastoreio) e de monitorização ambiental (concentrações de fósforo no solo, nos sedimentos e na água) gerados pelos seis pilotos. A sua base de dados abrange os sistemas produtivos contrastantes estudados no Phos4Cycle, garantindo uma abrangência diversidade agropecuária do espaço SUDOE.

O modelo de previsão permite:

- identificar zonas de risco crítico com base na interseção de dados edafoclimáticos e de gestão, cartografando as áreas de maior potencial de exportação de fósforo dentro de cada bacia hidrográfica
- antecipar o efeito dos eventos de precipitação intensa sobre o risco de escoamento superficial e erosão, com particular relevância em sistemas com solos de elevado teor de fósforo disponível
- simular cenários de gestão alternativos, como a alteração das doses de fertilização, a introdução de coberto vegetal ou a aplicação de biochar e quantificar o seu impacto potencial na redução do risco de contaminação
- apoiar a elaboração de alertas precoces dirigidos às autoridades competentes e aos produtores, em articulação com as redes de monitorização hidrológica existentes

A transferibilidade do modelo a outros territórios do espaço SUDOE com características edafoclimáticas e produtivas às dos pilotos estudados constitui um resultado esperado do projeto. A sua calibração e validação com base em dados de campo reais de seis sistemas distintos confere-lhe um grau de robustez e representatividade superior ao de modelos desenvolvidos em condições laboratoriais ou com base em dados bibliográficos.

O modelo desenvolvido foi implementado numa aplicação web, cuja página inicial se apresenta na Figura 2.



Figura 2 - Página inicial da aplicação web do modelo desenvolvido.

Esta aplicação recolhe as informações necessárias tanto do utilizador como do Google Earth Engine, partindo, em primeiro lugar, de uma região de interesse (ROI, do inglês «region of interest») que o utilizador fornece de duas formas possíveis, i) através de um ficheiro vetorial (GeoJSON, GPKG, ZIP, etc.) que contenha um polígono com a ROI a analisar; ii) desenhando o polígono de análise num mapa baseado no OpenStreetMaps.

A interface para efetuar esta seleção é apresentada na Figura 3.



Figura 3 – Interface para efetuar a seleção de uma região de interesse (ROI).

Após selecionar a região de interesse ROI, a ferramenta descarrega os diferentes mapas e a precipitação média anual na ROI para gerar o modelo RUSLE na zona selecionada. Além disso, solicita ao utilizador a concentração de fósforo no solo e o tipo de gestão que tem vindo a praticar (Figura 4), para que estes fatores sejam tidos em conta nos cálculos. Os tipos de gestão considerados são os seguintes: gestão tradicional, *biochar* combinado na fertilização com fósforo ou em pastagens, dosagem variável de fósforo de acordo com o potencial agronómico, utilização de culturas de cobertura, ajuste do fósforo nas rações para gado, conceção de *key-line*, utilização de culturas *intercropping*, e gestão regenerativa/holística de pastagens. Estas são as práticas de gestão que foram implementadas no projeto Phos4Cycle, e os resultados das experiências realizadas foram utilizados para ajustar este modelo.

1. Contenido de fósforo en el suelo

Contenido de P (g P / kg suelo) ?

- +

2. Tipo de manejo (factor P del RUSLE)

Selecciona el tipo de manejo ?

▼

Factor P aplicado al RUSLE: 1.0

3. Calcular


 Ejecutar modelo

Figura 4 – Interface de introdução de informação necessária ao modelo.

Após o cálculo, é gerado um mapa interativo no qual é apresentada a camada RUSLE sobreposta e onde é possível seleccionar o ponto para calcular tanto a erosão acumulada como o fósforo acumulado (Figura 5).

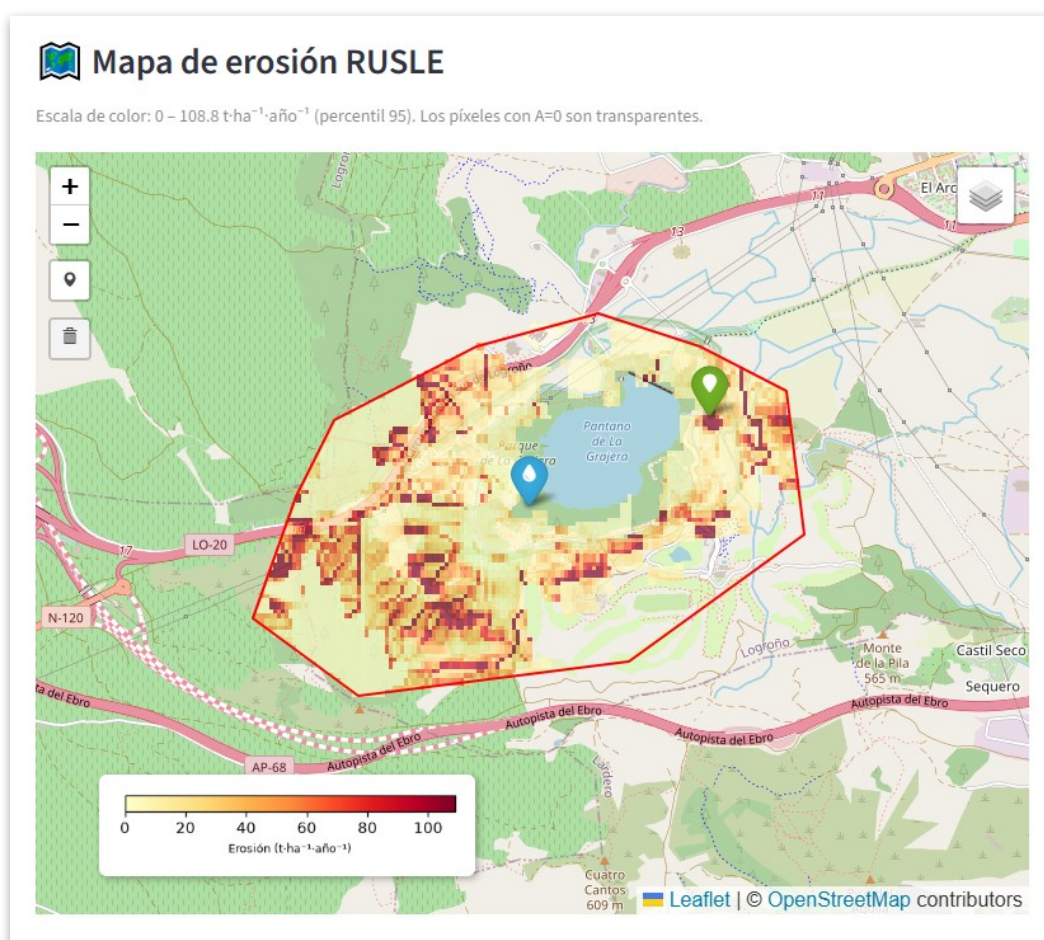


Figura 5 – Interface do mapa interativo com a camada RUSLE sobreposta.

Depois de selecionado o ponto de escoamento, a ferramenta efetua os cálculos correspondentes e gera um relatório (Figura 6) que pode ser consultado na própria ferramenta e exportado para um documento PDF que o utilizador pode descarregar. Nesse relatório, o utilizador pode ver o resultado para o tipo de gestão selecionado, bem como para todas as alternativas consideradas no projeto.

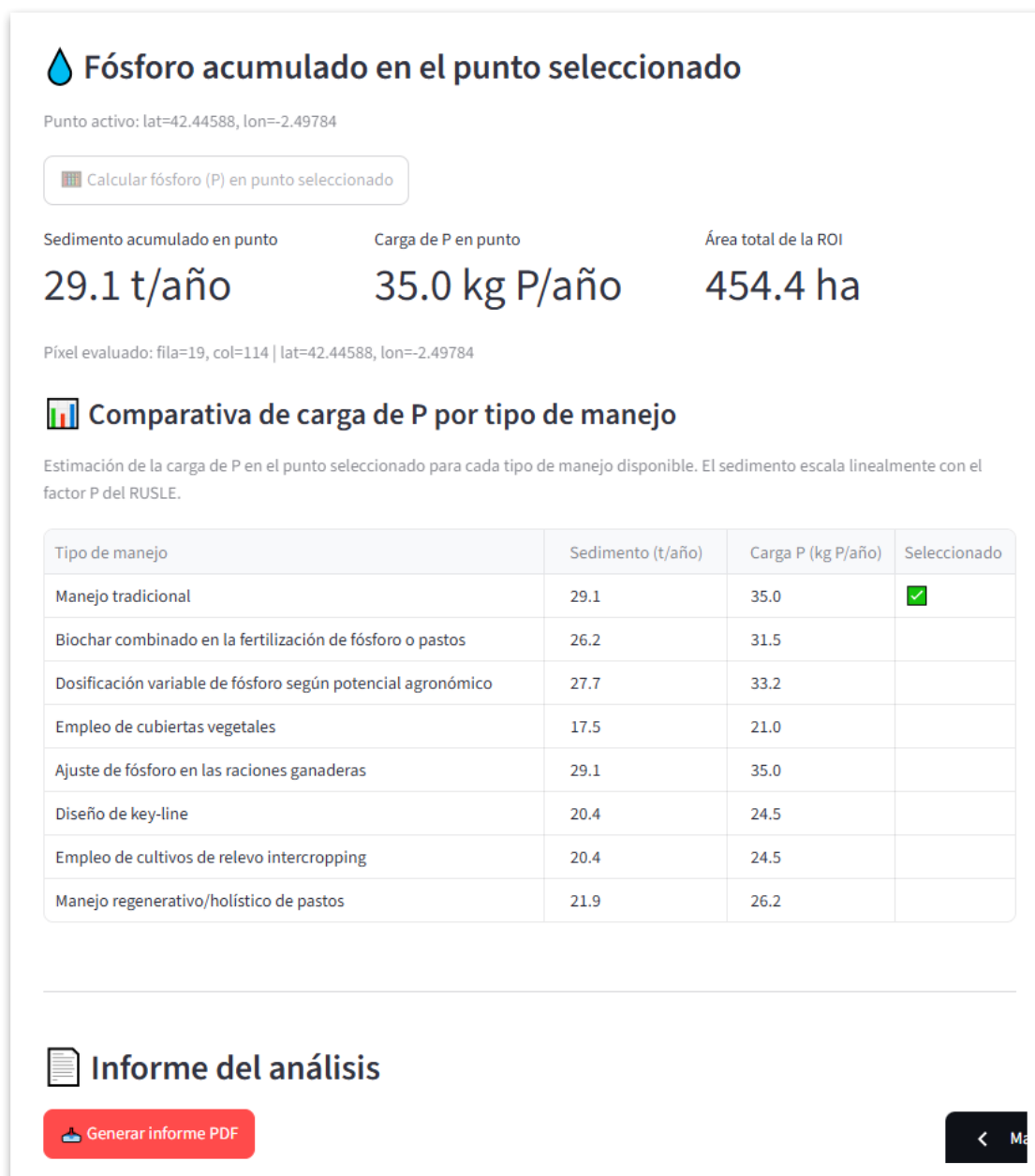


Figura 6 – Interface do relatório gerado pela aplicação.

Em resumo, o modelo implementado é capaz de estimar o risco de contaminação por fosfatos numa bacia hidrográfica definida por uma área de interesse, com base no teor de fósforo do solo e no tipo de gestão que nele é praticada. Além

disso, a ferramenta na qual esse modelo foi implementado permite trabalhar com qualquer zona pertencente à região SUDOE e permite que qualquer utilizador, sem necessidade de conhecimentos técnicos ou informáticos avançados, analise uma parcela ou região e gere um PDF com toda a informação relevante.

4.3 Ação Preventiva e Boas Práticas

O terceiro eixo da estratégia centra-se na operacionalização das medidas preventivas, para reduzir o risco de lixiviação e escoamento de fosfatos, identificadas com base nos resultados dos pilotos e sistematizadas no “Manual de Boas Práticas para Reduzir o Impacte Ambiental dos Fosfatos na Agricultura. Este eixo traduz o conhecimento científico e técnico produzido em recomendações práticas, adaptadas às especificidades de cada sistema produtivo e de cada contexto territorial.

O Manual de Boas Práticas reúne, para cada sistema piloto, as variações observadas na redução da erosão e na retenção de fósforo associadas às diferentes estratégias de gestão testadas, as considerações técnicas para a sua implementação. O Manual organiza-se em torno de três dimensões transversais a todos os sistemas estudados, ‘*Gestão do Fósforo no Solo*’, ‘*Fertilização*’, e ‘*Proteção das Massas de Água*’, complementadas por uma dimensão específica de gestão da produção para o sistema avícola. A primeira dimensão, ‘*Gestão do Fósforo no Solo*’, envolve o diagnóstico periódico do estado de fertilidade do solo essencial à definição da estratégia de gestão eficiente do fósforo, as medidas de proteção e conservação do solo, e por último uma referência à utilização do solo e gestão de resíduos agrícolas associados aos sistemas produtivos. A segunda dimensão ‘*Fertilização*’, desenvolve aspetos associados à fertilização fosfatada, nomeadamente os princípios fundamentais que devem ser observados, a quantidade e tipo de fertilizante a usar e época de aplicação. No caso do uso de efluentes pecuários, a sua análise laboratorial prévia antes da aplicação e o cálculo do respetivo balanço de fósforo são condições indispensáveis para evitar a sobrefertilização e o aumento desnecessário do risco de poluição difusa. A terceira dimensão ‘*Proteção das Massas de Água*’ reconhece a água como o principal vetor de mobilização do fósforo, seja na forma dissolvida por lixiviação e escoamento superficial, seja na forma particulada por erosão hídrica, e organiza as medidas de proteção em torno de três componentes, a gestão eficiente da rega para minimizar o escoamento e a lixiviação, a manutenção de faixas tampão vegetadas junto às linhas de água como barreira

de interceção do fósforo transportado, e o diagnóstico sistemático dos fatores de risco presentes em cada sistema produtivo. No caso específico da gestão de fósforo para o sistema avícola, o “Manual de Boas Práticas para Reduzir o Impacte Ambiental dos Fosfatos na Agricultura” envolve uma quarta dimensão específica associada à ‘Gestão da Produção Avícola’ a envolver aspetos associados ao bem-estar animal, a localização das estruturas de alojamento e de armazenamento de efluente, à instalação dos parques para pastagem.

O Manual inclui ainda uma ferramenta de diagnóstico rápido, transversal a todos os sistemas produtivos, que permite aos agricultores e técnicos identificar, numa tabela de sete fatores de risco, o nível de risco de poluição por fósforo da sua parcela. Os fatores considerados incluem a textura do solo, o teor de matéria orgânica, o pH, o teor de P_2O_5 disponível, o declive da parcela, o tipo de rega e a cobertura do solo.

5. Estratégias Agrícolas

Reconhecendo a heterogeneidade dos sistemas agrícolas e agropecuários do espaço SUDOE, a presente estratégia integra uma componente setorial associada a cada projeto-piloto, que adapta as orientações gerais às especificidades de cada sistema produtivo representado nos pilotos. O desenho experimental adotado baseado na utilização de sub-bacias hidrográficas como unidades de estudo independentes e comparáveis, com diferentes cenários de gestão implementados em condições reais de campo, constitui a base de evidência sobre a qual assentam as recomendações associada a cada projeto-piloto. As fichas técnicas do Manual de Boas Práticas constituem o instrumento operacional de suporte a esta componente, fornecendo para cada sistema as recomendações técnicas específicas, os critérios de diagnóstico e as boas práticas validadas no terreno.

O desenho experimental do Phos4Cycle baseia-se na utilização de sub-bacias hidrográficas como unidades de estudo funcionais, estruturadas em cada projeto-piloto de forma a permitir a comparação direta, em condições reais de campo, entre uma sub-bacia de referência (*Prática Tradicional*), representativa das práticas convencionais sem medidas preventivas e sub-bacias experimentais onde são implementadas estratégias de gestão diferenciadas (*Práticas Alternativas*). Esta abordagem permite avaliar, com base em

evidências geradas no terreno, o efeito de cada medida preventiva sobre os processos de transporte e acumulação de fósforo no solo e na água, considerando a interação entre as práticas de gestão, as características edáficas e a conectividade hidrológica de cada sistema produtivo.

5.1 Prática Tradicional

Em todos os pilotos, foi definida uma sub-bacia ou parcela de referência que representa o prática/gestão convencional ou tradicional/habitual de cada sistema produtivo sem incorporação de medidas preventivas específicas. Nos sistemas agrícolas (ITAGRA, IPC, Gobierno de La Rioja), esta referência corresponde à fertilização mineral ou à prática tradicional do agricultor; no sistema agroflorestal FEDEHESA, à prática pecuária convencional sem modificações orientadas para a redução do impacto no solo; e no sistema avícola ITAVI, às zonas de uso habitual pelos animais sem intervenção específica, representando as condições reais de deposição de dejetos. Esta linha de base é fundamental para avaliar, em termos comparativos, a eficácia das medidas preventivas implementadas nas sub-bacias experimentais, fornecendo dados quantitativos sobre as reduções efetivas nas exportações de fósforo associadas a cada estratégia de gestão.

5.2 Práticas Alternativas

As práticas alternativas implementadas nas sub-bacias experimentais (designadas por SM, ver Tabela 2) foram selecionadas com base na literatura científica, permitem comparar o desempenho desta abordagem com as práticas tradicionais e organizam-se em torno de quatro mecanismos de controlo da dinâmica do fósforo,

- i) ajuste da fertilização com base no balanço de nutrientes;
- ii) aplicação de biochar,
- iii) o uso de culturas de cobertura.

O ajuste da fertilização com base no balanço de nutrientes, ajustando as entradas de fósforo às saídas reais da cultura e à reserva disponível no solo, é uma das estratégias mais eficazes para reduzir as perdas de fósforo, ao evitar excessos de fósforo disponível no solo, reduzir a fração suscetível de ser transportada pelo escoamento ou drenagem e melhorar a eficiência de

utilização do nutriente. O ajuste da fertilização é considerado um elemento-chave na mitigação da poluição difusa por fósforo em sistemas agrícolas intensivos. A aplicação de biochar fundamenta-se na sua elevada área específica, porosidade e presença de grupos funcionais que favorecem a adsorção de fósforo solúvel, especialmente em solos com baixa capacidade de retenção, a redução da lixiviação e do transporte por escoamento superficial, e a interação com cátions (Ca, Fe, Al) que estabilizam o fósforo em formas menos móveis. A sua capacidade de adsorção elevada, aliada ao aumento da capacidade de troca do solo, à melhoraria das propriedades físicas do solo (porosidade e retenção de água e nutrientes), à estabilidade a longo prazo, tornam-no uma opção relevante nas estratégias de gestão do fósforo, reduzindo a sua perda para corpos de água.

Finalmente, o uso de culturas de cobertura contribui para a redução das perdas de fósforo através da diminuição do escoamento superficial, da erosão do solo e do aumento da infiltração e da estabilização estrutural do solo.

Nos sistemas de pecuária, a gestão da pressão animal e da alimentação aborda dois aspetos complementares: a distribuição espacial dos dejetos, através da exclusão do gado nas zonas de maior risco hidrológico e da gestão adaptativa da carga pecuária para uma distribuição mais homogénea dos nutrientes no território e a redução do fósforo excretado na origem, através da incorporação de fitase na alimentação animal, que permite a hidrólise do fitato, principal forma de fósforo nos alimentos vegetais, aumentando a digestibilidade e reduzindo a quantidade de fósforo excretado.

Tabela 2 – Práticas alternativas consideradas em cada piloto.

Sistemas	Prática tradicional	Prática Alternativa
1. Agrícolas ITAGRA	fertilização mineral ou manejo tradicional do agricultor sem incorporação de estratégias específicas de mitigação	SM1: ajuste da fertilização com base no balanço de nutrientes SM2: aplicação de biochar combinada com fertilização tradicional
GOVERNO DA RIOJA		SM1: implantação de cobertura vegetal SM2: aplicação de biochar
IPC		SM1: ajuste da fertilização com base no balanço de nutrientes SM2: aplicação de biochar combinada com fertilização tradicional
2. Agroflorestais	exploração pecuária	SM1: gestão pecuária com enfoque

FEDEHESA	convencional, sem modificações orientadas para a redução do impacto no solo ou a redistribuição de nutrientes	holístico SM2: zona de exclusão de gado, sem pastoreio nem pisoteio
3. Pecuária ITAVI	zonas de uso habitual pelos animais sem intervenção específica, representando as condições reais de deposição de dejetos	SM1 ^(*) : aplicação de um ajuste na alimentação, orientado para modificar a composição dos dejetos e, conseqüentemente, o seu impacto na dinâmica do fósforo

Nota: ^(*) Dentro de cada sub-bacia identifica-se uma variabilidade espacial associada à frequência de utilização do terreno pelos animais, com maior pressão pecuária nas zonas próximas dos edifícios e menor nas zonas mais afastadas. Esta distribuição introduz um gradiente funcional que influencia a acumulação de dejetos e o risco de mobilização de fósforo, complementando a análise comparativa entre sub-bacias

6. Plano de Ação

O Plano de Ação operacionaliza a Estratégia para a Gestão Sustentável dos Fosfatos num programa de medidas técnicas, estabelecendo a programação temporal das ações, os principais atores responsáveis pela sua execução e respetivos indicadores e avaliação dos resultados. A sua estrutura reflete os três eixos estratégicos definidos no Capítulo 4 e articula-se com o Plano de Formação descrito no Capítulo 7.

6.1 Medidas

As medidas prioritárias do Plano de Ação foram definidas com base nos resultados dos pilotos e nas deficiências de gestão identificadas em cada sistema produtivo. Organizam-se em três grupos temáticos, conhecimento e monitorização, intervenção agronómica, e transferência e política, que correspondem às diferentes fases do ciclo de gestão do fósforo: conhecer, agir e institucionalizar. No domínio do conhecimento e da monitorização, a medida central consiste na implementação de protocolos integrados de amostragem em todos os sistemas piloto, incluindo a recolha de amostras de solo e de sedimentos, complementada pela instalação de sensores de monitorização contínua da qualidade da água nos pontos de saída das sub-bacias. Esta medida, sob responsabilidade conjunta do ITAGRA, IPC, ITAVI, FEDEHESA, e DGAG_G, deverá estar plenamente operacional durante todo o período 2024-2026 e constitui a base de evidência para todas as restantes ações. Complementarmente, prevê-se a realização sistemática de diagnósticos do teor

de fósforo disponível no solo antes de cada ciclo de fertilização, com a elaboração de mapas de fertilidade por zona de gestão homogénea em cada exploração piloto. Este diagnóstico, da responsabilidade de todos os parceiros, é a condição prévia indispensável para a racionalização da fertilização fosfatada e para a redução do risco de sobre fertilização.

No domínio da intervenção agronómica, as medidas prioritárias diferenciam-se em função do sistema produtivo. Nos sistemas de culturas lenhosas permanentes de La Rioja e de cereais de regadio em Castela e Leão, a medida prioritária é o estabelecimento de culturas de cobertura nas entrelinhas e de faixas tampão ripícolas, com seleção de espécies adaptadas a cada contexto mediterrânico, sob responsabilidade da DGAG_GR e da ITAGRA, com início em 2024 e consolidação até 2025. Em paralelo, e com aplicação nos pilotos de Castela e Leão, La Rioja e Portugal, prevê-se a aplicação de biochar como corretivo de solo nas sub-bacias de maior risco de exportação de fósforo, no piloto de La Rioja, com monitorização do efeito no fósforo (P-Olsen) e nas concentrações de fósforo nas águas de drenagem ao longo do período do projeto.

Nos sistemas de produção animal, agro-pecuário leiteiro em Aveiro (IPC, Portugal) e avícola Landes (ITAVI, França), a medida prioritária passa pela elaboração e implementação de planos de fertilização orgânica baseados na análise laboratorial real dos efluentes e nas exportações de nutrientes pelas culturas, substituindo progressivamente o fósforo mineral sempre que o diagnóstico de solo o justifique. Esta medida, da responsabilidade da CALCOB e da ITAVI, representa uma das vias mais diretas de redução da dependência de fertilizantes minerais importados e de valorização agronómica dos subprodutos pecuários. Para a produção avícola especificamente, prevê-se ainda o teste de rações com enzima fitase para reduzir o teor de fósforo excretado pelos animais, quantificando a redução nas concentrações de fósforo na cama de aves e avaliando a viabilidade económica desta abordagem.

No domínio da transferência de conhecimento e da política, duas medidas assumem particular relevância. A primeira é o desenvolvimento e validação do modelo de previsão do risco de contaminação por fosfatos, sob coordenação da ITAGRA com o apoio técnico da AQUACORP, previsto para o período 2025-2026. O modelo integrará os dados gerados pelos seis pilotos para produzir uma ferramenta de simulação de cenários de gestão que poderá ser utilizada por técnicos e autoridades competentes para apoiar a tomada de decisão preventiva. A segunda medida é a publicação e disseminação do “Manual de Boas Práticas para Reduzir o Impacte Ambiental dos Fosfatos na Agricultura”, com fichas

técnicas por sistema produtivo, sob responsabilidade do IPC com contribuição de todos os parceiros. O Manual será distribuído através das cooperativas agrícolas, e outras entidades do setor agrícola e aos parceiros, constituindo o instrumento de transferência de conhecimento de maior alcance direto junto dos produtores e técnicos. A Tabela 3, sintetiza as medidas e a responsabilidade de concretização.

Tabela 3 – Resumo das medidas propostas e responsabilidade de execução.

Medida	Sistemas	Ação Concreta	Responsável	Prazo
M1 – Monitorização integrada	Todos os sistemas piloto	Protocolos periódicos de amostras de solo, e de sedimentos; sensores contínuos de qualidade da água nos pontos de saída das sub-bacias	ITAGRA, IPC, CALCOB, ITAVI, FEDEHESA, DGAG_GR	2024-2026
M2 – Diagnóstico (P-Olsen)	Todos os sistemas	Análises de P disponível antes de cada fertilização; mapas de fertilidade por zona de gestão homogénea; eliminação de P mineral em solos saturados	Todos os parceiros	2024-2026
M3 – Coberto vegetal e faixas tampão	La Rioja; Castela e Leão	Estabelecer culturas de cobertura nas entrelinhas e faixas ripícolas; selecionar espécies adaptadas por território e que minimizem competição hídrica	DGAG_GR, ITAGRA	2024-2025
M4 – Aplicação de biochar	Cereais (PT, ES); La Rioja	Aplicar biochar, monitorizar P-Olsen e exportação de fósforo nas águas de drenagem	ITAGRA, IPC, DGAG_GR	2024-2026
M5 – Planos de fertilização orgânica	Produção leiteira; Avicultura	Análise laboratorial dos efluentes; planos baseados nas exportações reais das culturas; substituição do P mineral sempre que P-Olsen o justifique	CALCOB, ITAVI	2024-2026
M6 – Ajuste alimentar avícola (fitase)	Produção avícola (FR)	Testar rações com enzima fitase; quantificar redução de fósforo excretado; avaliar viabilidade económica da abordagem	ITAVI	2025-2026
M7 – Modelo de previsão	Todos os territórios SUDOE	Calibrar e validar modelo preditivo com dados dos 6 pilotos; disponibilizar ferramenta de simulação de cenários de gestão para técnicos e autoridades	ITAGRA, AQUACORP	2025-2026

M8 – Manual de Boas Práticas	Todos os sistemas	Publicar Manual de Boas Práticas com fichas técnicas por sistema produtivo incluindo estudo de custos; distribuir via cooperativas e serviços de extensão rural	IPC, todos os parceiros	2026
M9 – Integração nas políticas	ES, PT, FR	Apresentar estratégia às autoridades competentes (INIAV, DGAG_GR, Ministère Agriculture FR, ARH Centro) para integração nos PGRH e PEPAC	IPC, ITAGRA, ITAVI	2026-2027

6.2 Programação

A programação das medidas respeita uma lógica de construção progressiva: as ações de monitorização e diagnóstico iniciam-se em 2024 e geram os dados que fundamentam as intervenções agronómicas a partir de 2024-2025; os resultados dessas intervenções alimentam o modelo preditivo e o Manual de Boas Práticas, concluídos em 2026; a disseminação da estratégia junto das autoridades competentes decorre em 2026-2027, assegurando a continuidade para além do horizonte do projeto.

6.3 Instrumentos de Apoio e Financiamento

A sustentabilidade financeira da implementação da estratégia para além da vigência do projeto Phos4Cycle depende da articulação com os instrumentos de política agrícola e ambiental disponíveis. Em Portugal, o PEPAC prevê eco-regimes e medidas agroambientais que podem acolher práticas como a gestão da fertilização baseada em análises de solo, a manutenção de culturas de cobertura e a proteção das linhas de água. A articulação com a ARH, parceira associada do projeto, é determinante para a integração das recomendações nos PGRH dos Rios Vouga, Mondego e Lis. Em Espanha e França, os equivalentes dos eco-regimes nos respetivos Planos Estratégicos da PAC oferecem enquadramentos análogos, com particular relevância para as medidas setoriais de La Rioja, Extremadura e Nouvelle-Aquitaine. A nível europeu, o programa LIFE, entre outros, representa uma oportunidade de continuação e escalonamento das ações de monitorização e demonstração. O desenvolvimento de esquemas de pagamento por serviços ambientais que remunerem os agricultores pela adoção

de práticas que reduzam a contaminação por fosfatos constitui uma via de financiamento a explorar a médio prazo, em articulação com as autoridades regionais e nacionais de cada país parceiro.

6.4 Indicadores

O acompanhamento da implementação do Plano de Ação assenta num conjunto de indicadores de desempenho alinhados com os indicadores de resultado do Programa Interreg SUDOE 2021-2027. Os indicadores de processo incluem o número de campanhas de monitorização realizadas por piloto, o número de planos de fertilização elaborados, a área coberta por medidas de conservação do solo e o número de agricultores e técnicos abrangidos pelas ações formativas. Os indicadores de resultado incluem i) a variação nas concentrações de fósforo total nas águas de saída das sub-bacias experimentais face à linha de base, ii) a redução nas doses de fertilizante fosfatado mineral aplicado nas explorações participantes, e iii) o número de entidades que adotam formalmente a estratégia e pelo menos uma das soluções técnicas desenvolvidas no projeto. A recolha e análise destes indicadores, partilhada entre todos os parceiros, assegura a transparência do processo e fornece a base de evidência necessária a adoção da estratégia.

7. Plano de Formação

O Plano de Formação constitui o instrumento de capacitação que assegura que o conhecimento técnico gerado no projeto Phos4Cycle chegue efetivamente aos seus destinatários finais — agricultores, criadores de gado, técnicos agrícolas e entidades com responsabilidades na gestão agroambiental. A formação é entendida como um elemento estruturante da estratégia, a adoção sustentável das boas práticas depende da compreensão, das competências e da motivação dos atores que operam no terreno, e não apenas da disponibilidade dos instrumentos técnicos. O Manual de Boas Práticas, através de fichas técnicas detalhadas e de um plano de formação, pretende-se criar uma rede de conhecimento que incentive a adoção voluntária e informada de técnicas alternativas por parte dos produtores.

7.1 Objetivos do Plano de Formação

O Plano de Formação prossegue quatro seguintes objetivos complementares, que envolvem os diferentes públicos-alvo do projeto e refletem a convicção de que a transferência efetiva do conhecimento gerado pelo Phos4Cycle exige abordagens diferenciadas consoante o perfil, as necessidades e o papel de cada ator no sistema de gestão do fósforo:

- Capacitar os técnicos das entidades parceiras e dos serviços do setor agrícola e pecuário para a implementação dos sistemas de monitorização de fosfatos e para a utilização do modelo de previsão do risco de contaminação
- Dotar os agricultores e criadores de gado dos conhecimentos práticos necessários para a adoção das medidas do Manual de Boas Práticas, com enfoque nos contextos produtivos específicos de cada território/piloto
- Sensibilizar as autoridades competentes e os decisores políticos para a relevância da gestão sustentável do fósforo e para o potencial de integração das soluções Phos4Cycle nas políticas agroambientais
- Criar redes de conhecimento que incentivem a partilha de experiências e a adoção voluntária de práticas sustentáveis entre produtores da região SUDOE

7.2 Público-Alvo e Conteúdos

A diferenciação dos públicos-alvo e dos respetivos conteúdos e formatos reflete o reconhecimento de que a transferência efetiva do conhecimento gerado pelo Phos4Cycle exige abordagens adaptadas ao perfil, ao nível de especialização e ao papel de cada grupo de atores na cadeia de adoção das soluções desenvolvidas. A Tabela 4, apresenta, de forma resumida, uma proposta dos conteúdos associados a cada tipologia de público-alvo.

Tabela 4 – Resumo dos conteúdos associados a cada tipologia de público-alvo.

Público-Alvo	Conteúdos Principais	Formato
Técnicos e investigadores	Metodologia de monitorização integrada (solo/sedimentos/água); utilização do Guia E2.4.2; aplicação do modelo preditivo;	Formação técnica avançada (2-3 dias); workshops por sistema produtivo; visitas aos pilotos

	interpretação de dados de campo	
Agricultores e criadores de gado	Diagnóstico P-Olsen; boas práticas de fertilização; gestão de culturas de cobertura e efluentes; leitura de fichas técnicas; calculadoras de balanço de nutrientes	Sessões práticas no campo (meio dia a 1 dia); demonstrações nos pilotos; fichas técnicas simplificadas
Técnicos de extensão rural e consultores	Interpretação de análises de solo; elaboração de planos de fertilização; recomendação de medidas adaptadas; utilização das ferramentas digitais	Formação teórico-prática (1-2 dias); acesso a ferramentas digitais; acompanhamento de casos práticos
Autoridades e decisores	Enquadramento regulatório; resultados do projeto; oportunidades de integração nas políticas agroambientais	Seminários de transferência (meio dia); relatórios síntese; reuniões de disseminação

7.3 Estrutura das Ações Formativas

As ações formativas organizam-se em dois ciclos sequenciais e complementares, um primeiro ciclo dirigido a técnicos e investigadores, que assegura a capacitação especializada necessária para a implementação e disseminação das soluções do projeto, e um segundo ciclo dirigido diretamente aos agricultores e criadores de gado, centrado na demonstração prática e na apropriação das boas práticas no terreno. A Tabela 5 resume, a estrutura das ações formativas.

Tabela 5 – Resumo das ações formativas.

Ciclo	Conteúdos
-------	-----------

1º Formação de Técnicos	- Dinâmica do fósforo nos sistemas agropecuários: ciclo do P, formas e comportamento no solo, mecanismos de mobilização e transferência para as massas de água, impactes da eutrofização (4 horas) - Monitorização integrada: metodologia do Guia de Monitorização de Fosfatos, protocolos de amostragem solo/sedimentos/água, utilização da tecnologia AQUACORP, interpretação de resultados (8 horas + visita de campo) - Modelo de previsão do risco: outputs do modelo, identificação de zonas de risco, simulação de cenários de gestão, integração com dados de monitorização (4 horas) - Boas práticas: sessões específicas por sistema produtivo com base no Manual de Boas Práticas (4 horas)
2º Formação de Agricultores	- Sessões de campo nos pilotos: visita guiada às parcelas experimentais com demonstração das medidas implementadas e apresentação dos resultados observados na retenção de fósforo e qualidade da água - Oficinas práticas de análise de solo: interpretação de análises P-Olsen, determinação das necessidades de fertilização e elaboração simplificada de planos de nutrição - Demonstração de equipamentos: apresentação dos sensores de monitorização contínua da água (tecnologia AQUACORP) e dos equipamentos portáteis de análise de solo - Acesso às ferramentas digitais: introdução às calculadoras de balanço de nutrientes e às fichas técnicas disponíveis online

7.4 Avaliação e Verificação dos Resultados

A avaliação das ações formativas baseia-se num modelo de dois níveis: avaliação da satisfação e da aprendizagem imediata (questionários de satisfação e testes de conhecimento antes/depois), aplicada em todas as ações formativas; e avaliação da transferência e do impacto no terreno (entrevistas e visitas de acompanhamento após a formação), aplicada a uma amostra representativa de participantes. Os indicadores incluem i) o número de técnicos e agricultores formados por território, ii) a taxa de adoção das medidas recomendadas e iii) a evolução dos indicadores de qualidade da água nos territórios de intervenção.

8. Referências Bibliográficas

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

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

EU, 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.

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