



2023

Congresso Nacional
das Ciências do Solo

50
anos
Sociedade Portuguesa
da Ciência do Solo



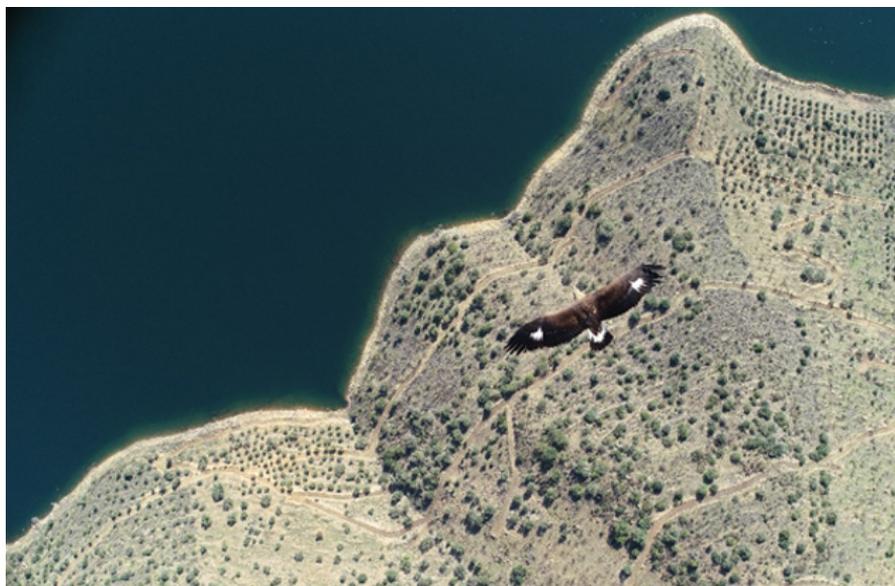
Os Solos nos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

50 anos da Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo

28 a 30 de junho de 2023

Instituto Politécnico de Bragança/CIMO
Bragança, Portugal

Livro das Viagens de Estudo

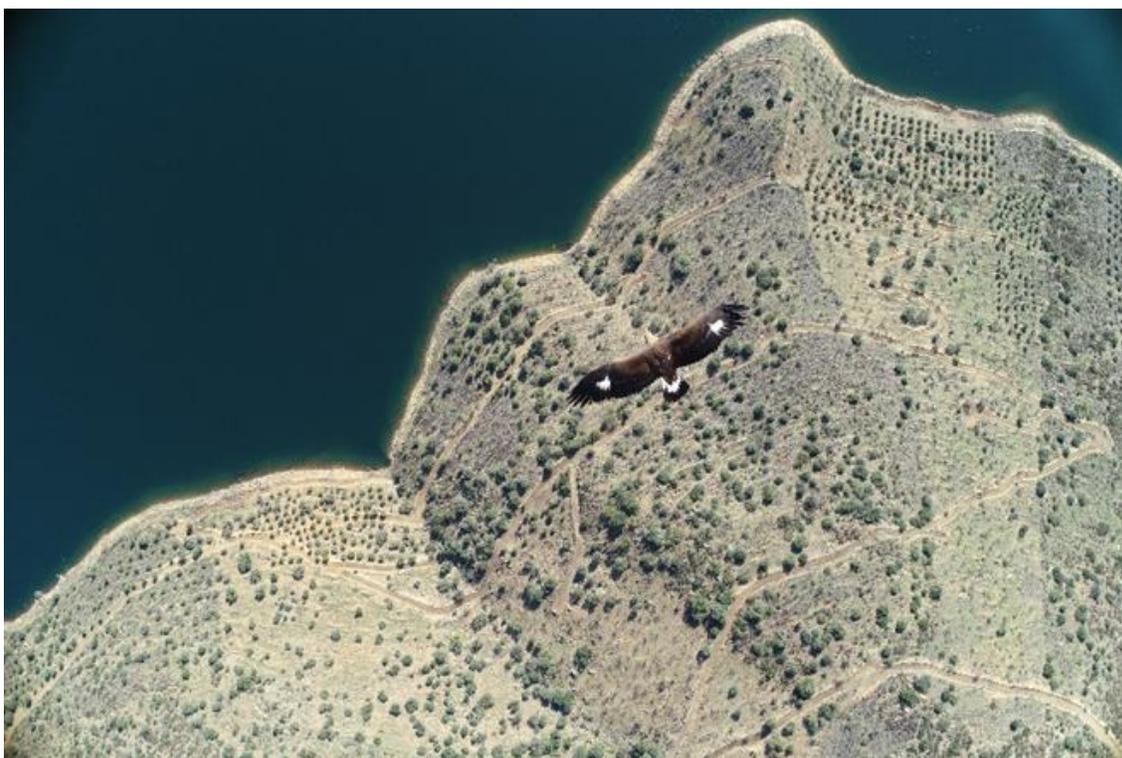


Instituto Politécnico de Bragança

2023

II Congresso Nacional das Ciências do Solo
**Os Solos nos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável:
50 anos da Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo**

Livro das Viagens de Estudo



Tomás de Figueiredo, Felícia Fonseca, Zulimar Hernández (editores)

Bragança
Junho de 2023

Ficha Técnica

Título: II Congresso Nacional das Ciências do Solo: Livro das Viagens de Estudo

Editores: Tomás de Figueiredo^{1,2}, Felícia Fonseca^{1,2}, Zulimar Hernández^{1,2}

Autores: Tomás de Figueiredo^{1,2}, Felícia Fonseca^{1,2}, Zulimar Hernández^{1,2}, Ana Caroline Royer^{1,2}, Renecleide Viana dos Santos^{1,2}, Vinicius Okada^{1,2}, Silvana Costa³, Ana Beatriz Segatelli^{1,2}, Sara Rodrigues³.

¹ Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal

² Laboratório Associado para a Sustentabilidade e Tecnologia em Regiões de Montanha (SusTEC), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal

³ MORE - Laboratório Colaborativo Montanhas de Investigação - Associação, 5300-358 Bragança, Portugal

Publicação: Instituto Politécnico de Bragança,
Campus de Santa Apolónia, 5300-253, Bragança

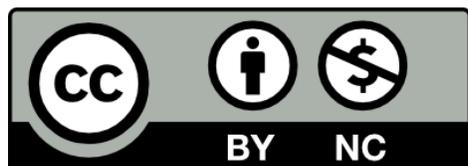
Paginação e arranjos gráficos: Tamires Bertocco, Ana Caroline Royer & Zulimar Hernández, CIMO-SusTEC; Luís Ribeiro, Serviços de Imagem, Instituto Politécnico de Bragança

Desenho da capa e contracapa: Tomás de Figueiredo, CIMO-SusTEC.

Imagem da capa: Águia-real planando sobre a margem dos Lagos do Sabor (Imagem gentilmente cedida por Renato Henriques, Universidade do Minho).

Tiragem: 90 exemplares

ISBN: 978-972-745-323-8



Junho de 2023

Índice

Viagens de estudo	5
Percurso e horário da Visita de Estudo 1	6
Percurso e horário da Visita de Estudo 2	7
1. Nota introdutória	9
Parte I	
Matos e Florestas das Zonas de Montanha da Terra Fria Transmontana	
Viagem de estudo 1.....	13
2. Proteção das florestas contra incêndios no Parque Natural de Montesinho	15
2.1. Fogo controlado no Parque Natural de Montesinho: Parcela da Aveleda.....	17
2.1. Efeito dos fogos controlados na Parcela da Aveleda	27
3. Povoamentos florestais na Serra da Nogueira	31
3.1. Impacto da substituição de espécies florestais no solo e nos serviços de ecossistema.....	31
Parte II	
A fileira olivícola na Terra Quente Transmontana	
Viagem de estudo 2.....	39
4. Conservação dos solos em olivais.....	41
4.1. Áreas de olival no Nordeste de Portugal.....	42
4.2. Erosão do solo	44
5. Alternativas eco eficientes ao subproduto da fileira do olival: o bagaço de azeitona	49
5.1. Estado atual e problemática ambiental.....	49

5.2. Monitorização ambiental do rio Tua.....	53
5.3. Valorização dos subprodutos	56
6. Compostagem do bagaço de azeitona - Quinta do Prado	57
6.1. Ensaio de compostagem ACUSHLA 1.....	57
6.2. Ensaio de compostagem ACUSHLA 2.....	66
6.3. Ensaios de eficácia do composto como fertilizante orgânico e condicionador de solo	70
6.4. Ensaio em vasos: efeito na nutrição vegetal.....	70
6.5. Ensaio a microescala: efeito na estabilidade de agregados.....	71
6.6. Ensaios de avaliação da perda de solo	73
6.7. Ensaio de campo para testar o efeito na fixação de C no solo	74
Parte III	
Proteção e restauro das vertentes dos Lagos do Sabor	
Viagem de estudo 1 e 2	77
7. Aplicação de Soluções de base Natural (SbN) para recuperação de solos degradados pelo fogo	79
7.1. Antecedentes: Incêndio de Picões.....	79
7.2. Soluções baseadas na Natureza (SbN)	81
7.3. Descrição da área de intervenção do Projeto SOILING.....	82
7.4. Descrição da área de intervenção do Projeto ForestWaterUp.....	84
8. Nota final	87
9. Referências	89

Viagens de estudo

Neste evento, um itinerário de Viagens técnicas foi cuidadosamente organizado para proporcionar aos participantes experiências práticas e imersivas no campo dos estudos de solos. Estas viagens foram planeadas para oferecer um ambiente real e interativo, permitindo que os participantes expandam seus conhecimentos teóricos, tenham uma visão mais abrangente das práticas e desafios relacionados às áreas de estudo. É uma oportunidade valiosa para explorar o papel dos solos na busca por um desenvolvimento sustentável e para celebrar o marco de 50 anos da Sociedade Portuguesa da Ciência do solo.

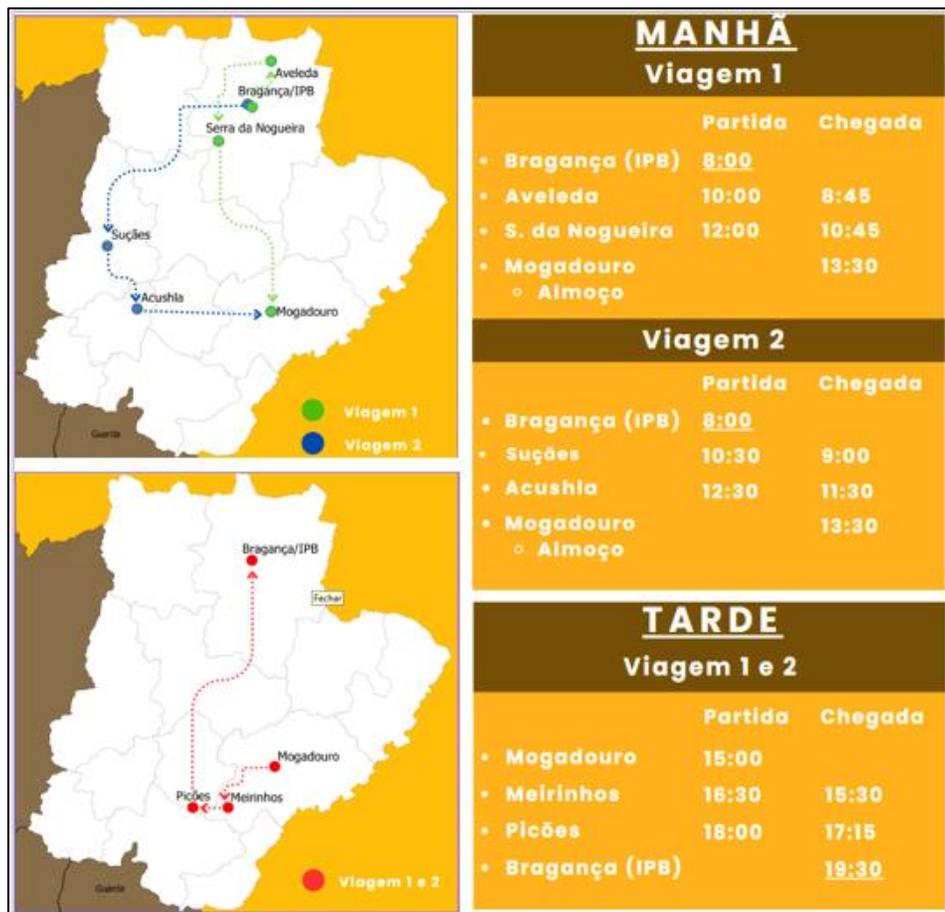


Figura 1. Itinerário das Viagens de estudos.

Percurso e horário da Viagem de Estudo 1

07:45 - Ponto de Encontro: CIMO, Instituto Politécnico de Bragança

08:00 - Partida (Transporte em autocarro)

08:45 às 10:00 - Áreas ardidas sob monitoramento na zona de Bragança: Aveleda. Projeto TERRAMATER

10:45 às 12:00 - Povoamentos florestais de espécies exóticas e autóctones (solo, serviços do ecossistema, incêndios), Serra da Nogueira

13:30 às 15:00 - Almoço - Mogadouro

15:00 - Saída para Meirinhos

15:30 às 16:30 - Meirinhos - Lagos do Sabor. Projeto ForestWaterUp

17:15 às 18:00 - Picões - Área de Intervenção do Projeto Soiling

18:00 - Regresso a Bragança

19:30 - Previsão de chegada a Bragança

Percurso e horário da Viagem de Estudo 2

07:45 - Ponto de Encontro: CIMO, Instituto Politécnico de Bragança

08:00 - Partida (Transporte em autocarro)

09:00 às 10:30 - Efeitos da mobilização do solo em olival tradicional em Suções -
Projeto Man4Health

11:30 às 12:30 - Quinta do Prado, Acushla - Compostagem e aplicação de compostos
à base de bagaço de azeitona em olivais em modo de produção biológica - *Projetos
BIOMA e Soiling*

13:30 às 15:00 Almoço - Mogadouro

15:00 - Saída para Meirinhos

15:30 às 16:30 - Meirinhos - Lagos do Sabor. Projeto *ForestWaterUp*

17:15 às 18:00 - Picões - Área de Intervenção do Projeto *Soiling*

18:00 - Regresso à Bragança

19:30 - Previsão de chegada a Bragança

1. Nota introdutória

O II Congresso Nacional das Ciências do Solo reserva no seu programa um dia dedicado a Viagens de estudo na Região Nordeste de Portugal. Ao encontro do lema do Congresso “Os Solos e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável”, o programa do evento propõe também, assim, uma imersão em terras de Trás-os-Montes, onde se cruzam, num território de montanha e em mudança, tanto os valores naturais e as paisagens preservadas que lhe dão merecida notoriedade, como exemplos comprometedores da sustentabilidade do território e dos seus recursos, em particular do recurso solo.

Os percursos selecionados constituem oportunidade para observação dos principais elementos da paisagem, condicionante da formação e das características dos solos, e da aptidão da terra. Constituem também oportunidade para evidenciar as ameaças ao recurso solo associadas à sua gestão, bem como as decorrentes das tendências de mudança que aqui se verificam, quanto ao uso da terra e quanto ao contexto climático definidor da suscetibilidade à desertificação e à seca.

As paragens previstas permitem tomar contacto direto com áreas experimentais onde se podem mostrar, e discutir no terreno, resultados e perspetivas da aplicação de soluções que vêm sendo testadas no sentido da neutralidade da degradação das terras e da gestão sustentável do solo.

As Viagens de estudo iniciam-se em Bragança, na Terra Fria de Planalto, a cerca de 700 m de altitude, cidade erguida sobre um maciço de rochas básicas e ultrabásicas, exemplar das singularidades da complexa geologia de Trás-os-Montes Oriental. Representando categorias de uso do solo com problemáticas bem distintas, a Viagem 1 desenrola-se em áreas de matos e floresta de montanha, na Terra Fria Transmontana, onde está bem presente o contexto dos incêndios, das abordagens preventivas e da recuperação de áreas ardidadas, com foco, naturalmente, nos solos.

O percurso da Viagem 1 leva às montanhas mais altas do Nordeste de Portugal, primeiramente ao Parque Natural de Montesinho, cuja designação rende homenagem à Serra de Montesinho (1486 m), a norte da cidade, e daí à Serra da Nogueira (1319

m), a sudoeste da cidade, ambas nas cabeceiras da bacia do Rio Sabor, o primeiro afluente principal da margem direita do Douro em Portugal. O trajeto cruza o Sabor à saída de Bragança, atravessa a superfície abatida da Baixa Lombada, onde se podem observar na passagem Alissolos avermelhados desenvolvidos sobre materiais sedimentares argiláceos com calhau rolado, remanescentes da superfície Terciária, preservada na Meseta Norte espanhola, mas muito erodida e fragmentada em Trás-os-Montes. A este, avista-se o limite da Alta Lombada, com altitudes cerca de 200 m superiores e em correspondência com as comuns no Planalto Mirandês, expressão morfológica da Meseta Ibérica em território português. O trajeto corta ainda terrenos do maciço de rochas básicas nas imediações de Baçal, com Luvisolos dedicados a culturas anuais de sequeiro, prosseguindo em quase impercetível ascensão por terrenos de Aveleda, ao encontro de manchas de floresta plantada e de matos, sobre Leptossolos, com as montanhas de Sanabria, salientes ao norte, em território espanhol.

Na paragem da área experimental de Aveleda observa-se o processo de recuperação pós-fogo controlado em área de matos. A área é monitorizada há mais de 10 anos, acompanhando-se agora o segundo ciclo de recuperação após aplicação de fogo controlado. O efeito de tratamentos do solo com distintos condicionadores (Tecnossolos) é avaliado quanto à redução das taxas de erosão, em micro-parcelas, e quanto à evolução pós-fogo de propriedades físico-químicas do solo, com amostragem regular em pontos de controle.

A partir desta paragem, a Viagem 1, passando de novo por Bragança de passagem, sobe a vertente leste da Serra da Nogueira até cota superior a 1000 m, penetrando na grande mancha florestal pristina de Carvalho negral (*Qercus pyrenaica*), a maior da Europa, e nos povoamentos de resinosas sobre Leptossolos e Regossolos, que a substituíram em larga extensão. Na ascensão, haverá oportunidade para observar a área urbana de Bragança, e a ampla superfície de terra arável que contorna a cidade pelo lado ocidental, com Luvisolos e Cambissolos derivados de rochas básicas.

A paragem na Serra da Nogueira pretende mostrar os efeitos no solo da substituição da floresta pristina por resinosas de mais rápido crescimento e interesse

económico, em particular na acumulação de carbono no solo. A área foi também objeto de amostragem para avaliação da acumulação de mercúrio no estrato arbóreo e no solo, contribuindo para o conhecimento aprofundado da distribuição deste elemento no perfil vertical do sistema floresta-solo.

A Viagem 2 é dedicada à fileira olivícola, emblemática das áreas produtivas da Terra Quente Transmontana, no seio da qual emerge a necessidade de valorização do subproduto desta indústria: o bagaço de azeitona, com vista à consolidação de práticas de economia circular onde mais eficazmente podem ser aplicadas.

No trajeto até Mirandela, acompanha-se a passagem do contexto de Terra Fria, até Rossas (ca – 900 m), à Zona de transição em terras de Macedo de Cavaleiros, e à Terra Quente, para a qual se desce progressivamente desde o Alto da Amendoeira (670 m) em direção à depressão tectónica de Mirandela, a 230 m de altitude. Neste percurso, quase integralmente no domínio litológico dos xistos (com exceção dos granitos de Rossas), é notória a alteração da paisagem agrícola com a entrada na Terra Quente, aqui fortemente dominada pela cultura do olival, sobre Leptosolos, Regossolos e Cambissolos (apenas nas áreas mais aplanadas), de cor ocre e com areia fina e limo como frações granulométricas dominantes na terra fina.

Cruzando o Rio Tua, o segundo grande afluente da margem direita do Douro português, o percurso leva à paragem de Suções, com a elevação da Serra de Passos (ca. 1000 m), com as suas cristas quartzíticas, saliente a oeste numa paisagem de feição ondulada. Parcelas de erosão permitem avaliar o efeito da gestão da vegetação herbácea na entrelinha de olival na redução da perda de solo. A área experimental de Suções tem sido a base para o estudo do papel dos sistemas radiculares das várias espécies herbáceas, espontâneas e semeadas, na proteção do solo contra a erosão, bem como para estudos sobre o efeito da gestão da vegetação herbácea na entrelinha na biodiversidade do solo.

A Viagem 2 prossegue regressando a terras de Macedo de Cavaleiros, dirigindo-se então para Sul. O trajeto atravessa este Município, onde as culturas típicas da Terra Fria perdem expressão em favor do olival tradicional da Terra Quente,

cultivado sobre Regossolos, Cambissolos e mesmo Luvisolos nas superfícies de menor declive. Deixada a sombra da Serra de Bornes (1200 m), que acompanha o trajeto pelo lado oriental até à cumeada da Burga, abre-se para sul o Vale da Vilariça, extensa superfície agrícola de regadio, em plena Terra Quente Transmontana (ca. 120 m trecho jusante), com uma área de culturas permanentes de expressão crescente nos anos mais recentes. As vertentes do vale representam as escarpas de falha que sinalizam o abatimento do bloco original, entretanto preenchido por sedimentos que constituem, para além do xisto, o material originário dos solos do fundo do vale (Fluvisolos, Cambissolos e Luvisolos). Assinala-se que esta etapa é comum às viagens 1 e 2.

A paragem na Quinta do Prado, nas proximidades do Vale da Vilariça em direção a Vila Flor, ilustra as potencialidades da utilização de bagaço de azeitona na produção de compostos e condicionadores de solo. Pilhas de compostagem de escala industrial têm sido monitorizadas por 2 anos e os compostos produzidos aplicados na propriedade onde se gerou o bagaço que constitui a matéria-prima da compostagem, a qual é gerida unicamente em modo biológico, e cujo desempenho é regularmente monitorizado, sendo um bom exemplo de economia circular.

As duas Viagens encontram-se em Mogadouro, para uma paragem na área dos Lagos do Sabor (138 m ao NPA do Aproveitamento Hidroelétrico do Baixo Sabor), que são exemplo de conciliação de usos do território conflituais, mas em busca dos equilíbrios dinâmicos que permitam os propósitos de desenvolvimento sustentável desta região, que são bem claros para os atores e responsáveis locais. Neste contexto, é retomada a problemática da recuperação de áreas degradadas pelos incêndios, agora em ambiente semiárido. É ocasião para apresentar e discutir soluções para acelerar os processos de recuperação em condições muito limitantes de solo, clima e relevo. No regresso a Bragança, e numa segunda paragem nos Lagos do Sabor, em Picões, Alfândega da Fé, mostram-se as condições da lenta recuperação da área afetada pelo grande incêndio de 2013, que aqui se iniciou.

As secções seguintes do texto apresentam de modo detalhado os trabalhos que justificam o interesse científico de cada uma das paragens das Viagens de estudo.

Os Editores.

Parte I

Matos e Florestas das Zonas de Montanha da Terra Fria Transmontana

Viagem de estudo 1

Felícia Fonseca, Tomás de Figueiredo, Ana Caroline Royer



2. Proteção das florestas contra incêndios no Parque Natural de Montesinho

O Parque Natural de Montesinho (PNM), criado pelo Decreto-Lei nº 355/79, de 30 de agosto, localiza-se no extremo nordeste de Portugal (41°43'47" a 41°59'24" N e 6°30'53" a 7°12'9" W) e ocupa uma área de 750 km², abrangendo a parte setentrional dos concelhos de Bragança e Vinhais. (Figura 2A). Apresenta um relevo heterogéneo com planaltos cortados por vales profundos e algumas montanhas com encostas de declives suaves a muito íngremes e, altitudes que variam de 438 a 1486 m (Serra de Montesinho). De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, o clima da região é Csb definido como clima mediterrânico, com verões secos e quentes e invernos chuvosos e frios. A temperatura média anual varia de 8,5°C na Serra de Montesinho e 12,8°C na Baixa Lombada e a precipitação média anual diminui de Oeste (1200 mm) para Este (800 mm), concentrada de outubro a março (IPB/ICNF, 2006).

O xisto é o material originário do solo mais representado, mas as rochas básicas e ultrabásicas, granitos e migmatitos são grupos litológicos relativamente importantes na área. A distribuição espacial das unidades solo mostra forte dominância dos Leptossolos (77,1%) seguida dos Cambissolos (20,1%), os solos evoluídos (Luvisolos e Alissolos) cobrem apenas 2% do território (Agroconsultores & Coba 1991; Figueiredo 1990), conforme Figura 2B. A vegetação nativa, é constituída pela espécie arbórea *Quercus pyrenaica*, mas a sua redução dramática nos últimos séculos levou à degradação dos solos que agora são basicamente cobertos por espécies arbustivas (Aguiar, 1992). Atualmente, as comunidades arbustivas são consideradas componentes estáveis da paisagem (Figueiredo, 1990).

O território do PNM é composto por um conjunto de paisagens naturais, seminaturais e humanizadas, onde existe elevada diversidade biológica, reconhecida a nível regional, nacional e europeu (ICNF, 2018). É de assinalar a presença do lobo-ibérico (*Canis lupus signatus*), do veado (*Cervus elaphus*) e da águia real (*Aquila chrysaetos*). A diversidade da vegetação é notória e pode ser observada em percursos

de curta distância, sendo de destacar os carvalhais, soutos, sardoais (bosques antigos de azinheiras), bosques ripícolas, giestais, urzais, estevais e lameiros (pastagens seminaturais permanentes). Os carvalhais situados no PNM, são dominados pela espécie *Quercus pyrenaica* e fazem parte de um continuum que se prolonga até à Serra da Nogueira, constituindo uma das maiores e mais importantes manchas desta espécie na Europa (ICNF, 2018).

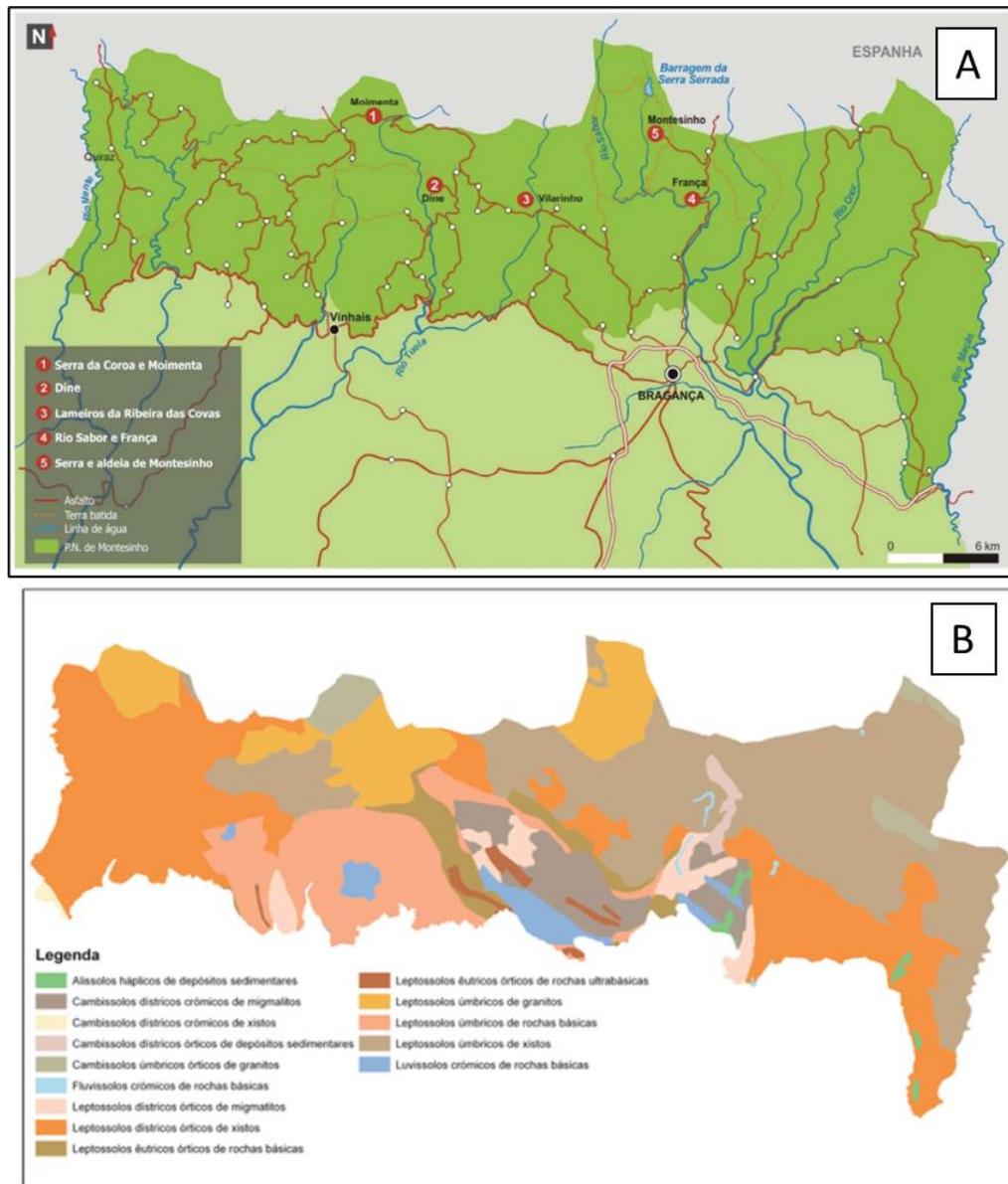


Figura 2. A: Limites do PNM. B: Unidades de solos principais do Parque Natural de Montesinho. Fonte: Castro et al., (2010) e ICNF, 2023.

Os matos ocupam cerca de um terço da área do PNM, predominando as comunidades de urzais, estevais e giestais. Ocorrem em todas as altitudes, principalmente em solos abandonados pela agricultura, orlas de bosques e terrenos outrora ocupados por bosques autóctones e plantações florestais. Os matos são biótopos de extrema importância para diversas espécies da fauna selvagem (Aguiar, 2000) e do ponto de vista hidrológico e pedológico, mas também representam um risco acrescido da suscetibilidade das áreas ocupadas por floresta à ocorrência de incêndios florestais. Neste contexto, torna-se essencial gerir as comunidades de matos, uma vez que constituem elevada carga de combustível que favorece a propagação do fogo.

O fogo controlado é uma prática comum na região do Mediterrâneo e constitui uma ferramenta de gestão da vegetação muito utilizada para reduzir a quantidade de combustível e, conseqüentemente, diminuir o risco de incêndio florestal. No PNM, o fogo controlado é também utilizado pelas autoridades de gestão florestal, estando previsto no Plano de Ordenamento do PNM como uma medida de proteção da floresta contra incêndios (ICNF, 2008). O Instituto Politécnico de Bragança (IPB) tem vindo a colaborar com o ICNF desde 2010, através do monitoramento dos efeitos do fogo controlado na vegetação, nas propriedades do solo e nos processos erosivos do solo.

2.1. Fogo controlado no Parque Natural de Montesinho: Parcela da Aveleda

Localizada no PNM, a aproximadamente 3 km da fronteira com Espanha, situa-se a área de estudo designada “Parcela da Aveleda”, assim denominada pela proximidade da aldeia de Aveleda. É uma área de planalto, a 800 m de altitude, cortada por vales profundos, com uma temperatura média anual de 12°C e precipitação média anual de 850 mm, concentrada de outubro a março (Agroconsultores & Coba, 1991). Os solos dominantes são Leptosolos úmbricos derivados de xisto, caracterizados por uma reduzida espessura (< 25 cm),

pedregosos, textura média, ácidos e com teor médio/alto de matéria orgânica na camada superficial (FAO/UNESCO, 1988; Agroconsultores & Coba, 1991).

Na área de estudo estava instalado um povoamento de pinheiro bravo (*Pinus pinaster*), mas em agosto de 1998, um incêndio florestal destruiu parte desse povoamento e, desde então, a vegetação arbustiva invadiu toda a área. No âmbito do plano de gestão das parcelas de pinhal, de forma a controlar a vegetação arbustiva e reduzir o risco de incêndio na floresta que permaneceu, foi aplicado um fogo controlado a 31 de março de 2011, numa extensão de cerca de 5 ha (Figura 3).



Figura 3. Parcela da Aveleda antes do fogo controlado, com destaque para o povoamento florestal que se pretende proteger contra incêndios.

Realizou-se um inventário da vegetação no terreno antes do fogo, identificando manchas com clara dominância de espécies representativas das principais comunidades de matos do PNM. Colheram-se amostras de solo antes do fogo, imediatamente a seguir ao fogo e dois, seis e trinta e seis meses pós-fogo nas profundidades 0-5, 5-10, e 10-20 cm, de modo a acompanhar os efeitos do fogo nas propriedades físicas e químicas do solo ao longo do tempo. Também foram instaladas, nos dias subsequentes ao fogo, seis parcelas de erosão de 4 m de comprimento por

1 m de largura, distribuídas em pares em três locais. Com base em observações e medições feitas no terreno o fogo foi classificado de baixa severidade.

A Tabela 1 mostra um resumo do efeito do fogo nas propriedades químicas do solo nos vários períodos de amostragem. Apesar da baixa severidade do fogo, verifica-se que um período de trinta e seis meses não foi suficiente para a total recuperação do sistema. Trinta e seis meses pós-fogo, observa-se que a matéria orgânica do solo, os valores de pH e a condutividade elétrica apresentam resultados idênticos aos encontrados na situação pré-fogo. Porém, o mesmo não foi verificado para as bases de troca (Ca, Mg, K e Na), potássio e fósforo extraíveis e acidez de troca, cujos valores diferiram dos observados antes do fogo (Fonseca et al., 2017). Esses resultados, principalmente em relação às camadas de solo de 5 a 20 cm de profundidade, podem ajudar a desconstruir a ideia de que os efeitos do fogo se restringem à camada superficial do solo, pois processos como a translocação de constituintes e lixiviação devem ser levados em consideração na interpretação dos resultados. No entanto, a recuperação da maioria das propriedades químicas do solo, de forma a atingir os níveis anteriores ao fogo controlado, foi mais rápida na camada superficial (0-5 cm) e isso é entendido como resultado da atividade biológica e dos processos de meteorização, que são mais intensos na superfície. Informação mais detalhada dos resultados obtidos sobre os efeitos do fogo nas propriedades do solo e nos processos erosivos pode ser consultada em Fonseca et al. (2017).

Tabela 1. Evolução temporal das propriedades químicas do solo após o fogo controlado em relação à situação anterior ao fogo. Antes do fogo controlado (BF), dois (2M), seis (6M) e trinta e seis (36M) meses após o fogo controlado. Fonte: Fonseca et al. (2017).

Chemical properties	Depth								
	0 – 5 cm			5 – 10 cm			10 – 20 cm		
	2M	6M	36M	2M	6M	36M	2M	6M	36M
SOM	+	-	+	-	-	+	+	-	+
pH (H ₂ O)	+	+	=	+	+	-	+	+	-
P extractable	=	+	+	-	+	+	-	+	+
K extractable	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca ²⁺	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg ²⁺	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K ⁺	-	+	-	-	+	-	-	+	-
Na ⁺	-	=	=	-	+	-	-	+	-
SEB	-	-	-	-	+	-	-	-	-
EA	+	-	+	+	+	+	+	+	+
CEC	-	-	-	-	+	+	=	+	+
BS	-	+	-	-	+	-	-	-	-
Al ³⁺	+	+	+	+	+	+	+	+	+
EC	-	+	-	-	-	-	-	-	-

■ significativamente maior (+) significativamente menor (-) que a situação pré-fogo (BF)

□ ligeiramente superior (+) ou inferior (-) que a situação pré-fogo, mas não estatisticamente

SOM - matéria orgânica do solo; SEB - soma de bases de troca; EA - acidez de troca; CEC - capacidade de troca catiónica; BS - saturação de bases; EC - condutividade elétrica.

Em 2020 os estudos na Parcela da Aveleda foram intensificados no âmbito do projeto TERRAMATER - Medidas Inovadoras de recuperação preventiva em áreas queimadas (0701_TERRAMATER_1_E), que tem como instituições parceiras a Universidade de Santiago de Compostela (USC), o Instituto Politécnico de Bragança (IPB), o Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), a Universidade do Minho e uma empresa da Galiza, Recursos y Valorización Ambiental. Atualmente, o projeto encontra-se finalizado, mas o monitoramento das ações continua.

O consumo da cobertura vegetal pelos grandes incêndios, bem como a falta de medidas de proteção dos solos pós-incêndio, podem incrementar o risco de erosão para níveis muito elevados. O projeto TERRAMATER teve como principal objetivo a conceção, formulação e elaboração de emendas e fertilizantes organominerais com vista à recuperação de áreas queimadas, e restauração dos ecossistemas, evitando assim o avanço da degradação do solo. Por outro lado, o uso destas emendas e

fertilizantes em áreas queimadas pode impedir o ataque de pragas nas áreas que não foram diretamente afetadas pelo incêndio/fogo (Terramater, 2021).

Dez anos após a realização do primeiro fogo controlado (2011), verificou-se ser o momento de gerir novamente a vegetação arbustiva, de modo a reduzir a carga de combustível na Parcela da Aveleda. Assim, a 22 de março de 2021, no âmbito do projeto TERRAMATER, procedeu-se à aplicação de um segundo fogo controlado naquela área. Antes do fogo realizou-se um levantamento da vegetação no terreno e quantificou-se a biomassa vegetal. A evolução do coberto vegetal foi acompanhada com voos VANT mensais durante o primeiro ano pós-fogo. Os horizontes orgânicos foram monitorados antes do fogo, imediatamente após o fogo e dois, seis e doze meses pós-fogo. Os horizontes orgânicos foram amostrados e quantificada a espessura nos diversos períodos de amostragem. Nos horizontes minerais do solo foram colhidas amostras nas profundidades 0-3, 3-6, 6-10 e 10-20 cm. Foram avaliadas propriedades físicas e químicas do solo, como a densidade aparente, permeabilidade, elementos grosseiros, estabilidade da agregação, matéria orgânica, nutrientes (macro e micronutrientes), metais pesados (Hg), entre outras. Durante o fogo controlado, foram registadas as temperaturas instantâneas da chama, da superfície do solo e a 5 cm de profundidade (Figura 4).



Figura 4. Fogo controlado e medição da temperatura do solo e da chama, com câmara termal.

Fonte: João Assis (2021).

Após o fogo controlado, foi realizado um voo drone para registrar a área afetada pelo fogo (Barroso et al., 2021). O resultado, juntamente com a situação pré-fogo, pode ser observado na Figura 5.

Dois dias após o fogo, foram instaladas oito parcelas de erosão, de 4 m² cada (1m de largura × 4 m de comprimento): quatro parcelas numa zona de menor declive (6,9%) e quatro numa zona de declive mais acentuado (16,5%) (Piovesan, 2022). Na Figura 6 é possível visualizar um conjunto de parcelas de erosão e o detalhe da colheita dos sedimentos na frente de uma das parcelas. Esses sedimentos são quantificados, crivados e, posteriormente analisados em laboratório. Também, os sedimentos transportados em suspensão na água de escoamento, são quantificados, bem como a água de escoamento superficial (Figura 6).

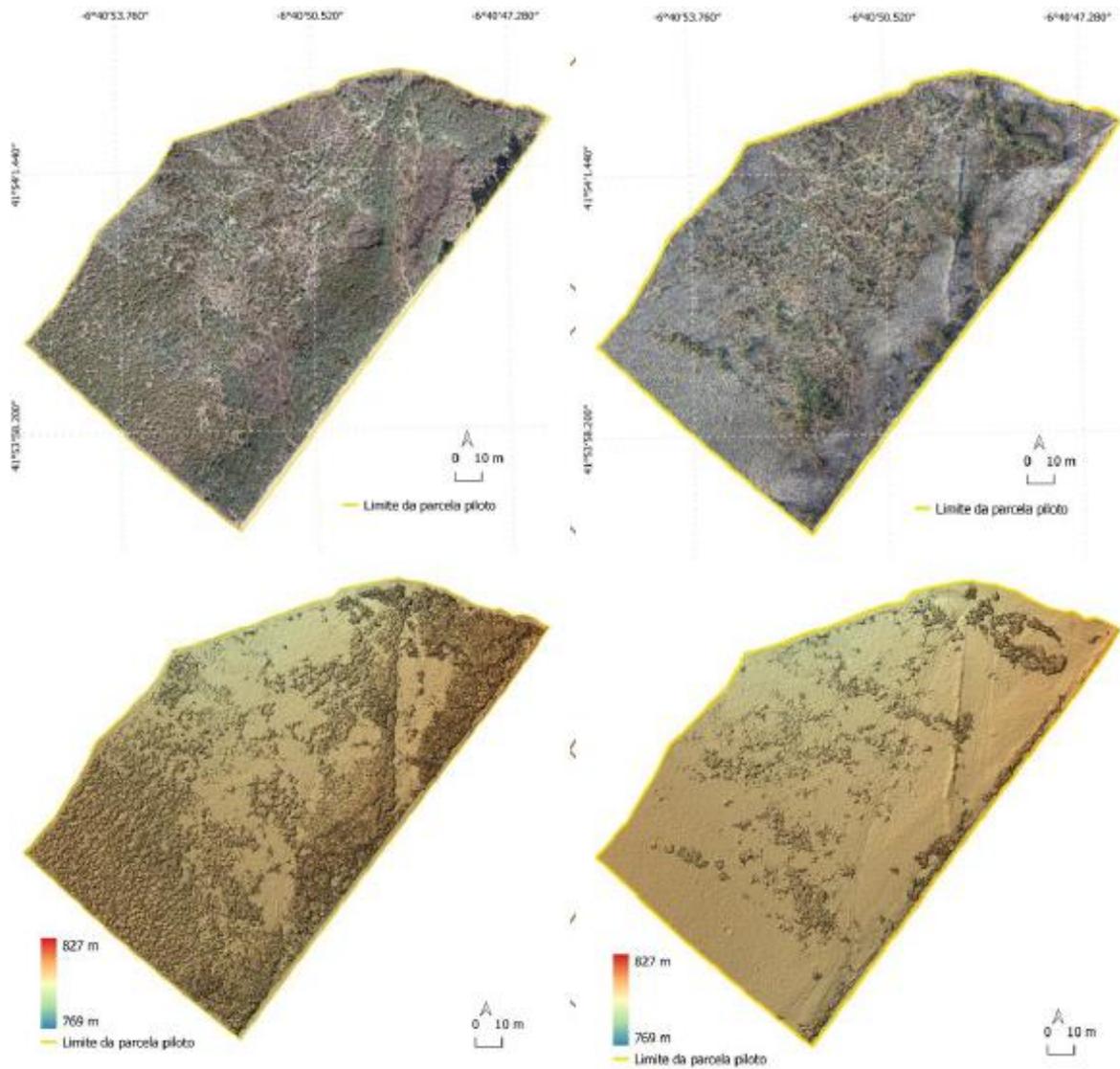


Figura 5. Ortofotomapas e modelos digitais de superfície na Parcela da Aveleda, antes (esquerda) e logo após o fogo controlado (direita) (Barroso et al., 2021).



Figura 6. Parcelas de erosão e colheita de escoamento superficial e sedimentos nas frentes das parcelas instaladas após o fogo na Parcela da Aveleda. Fonte: Ana Royer (2021).

No primeiro fogo controlado (2011), o escoamento superficial e a perda de solo foram monitorados num conjunto de 6 parcelas pareadas, semelhantes às descritas anteriormente, durante 14 meses após o fogo. A perda de solo foi de $1,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ e o escoamento superficial de $10,3 \text{ mm}$, correspondendo a um coeficiente de escoamento de $2,4\%$. A Figura 7A mostra a evolução temporal do escoamento e perda de solo ao

longo do período de monitorização (Fonseca et al., 2017). Relativamente ao segundo fogo controlado (2021), Alves et al. (2023) avaliou o escoamento superficial e a exportação de sedimentos durante oito meses (março a dezembro de 2021). A perda de solo nesse período foi de $92,1 \text{ g m}^{-2}$ ($0,92 \text{ Mg ha}^{-1}$), o escoamento superficial foi de $8,4 \text{ mm}$ (Figura 7B), traduzindo-se num coeficiente de escoamento de $3,6\%$. Ainda, foram avaliadas as perdas de C e N nos sedimentos, os quais foram separados em quatro classes de tamanho ($<0,2\text{mm}$, $0,2\text{-}0,5\text{mm}$, $0,5\text{-}2\text{mm}$, $>2\text{mm}$). A reduzida quantidade de precipitação, durante o período de ensaio, resultou em reduzidos valores de escoamento e, portanto, baixos valores de perda de solo, de C e de N.

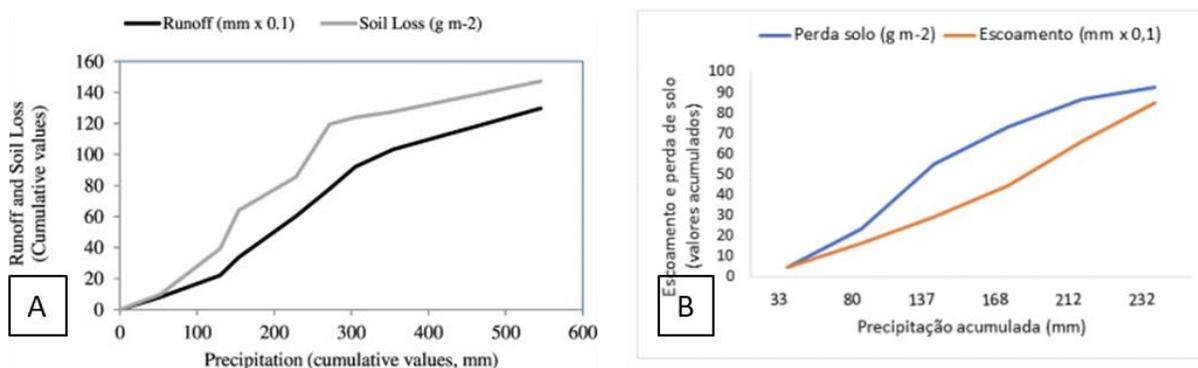


Figura 7 A: Evolução temporal do escoamento e perda de solo para o primeiro fogo controlado, média de 6 parcelas de erosão durante 14 meses (Fonseca et al., 2017). B: Evolução temporal da perda de solo e de escoamento para o segundo fogo controlado num período de oito meses, média de seis parcelas de erosão (Alves et al., 2023).

Uma ação inovadora do projeto Terramater, foi a aplicação de Tecnosolos em 500 m^2 da área ardida pelo fogo controlado, bem como em duas das parcelas de erosão. Os Tecnosolos consistem numa mistura de resíduos orgânicos e inorgânicos, sob influência antrópica, que buscam “criar” um solo com as mesmas funções biológicas, químicas e físicas de um solo natural, de forma a evitar e/ou reduzir a sua degradação. O seu uso tem sido crescente na remediação e recuperação de áreas

contaminadas por mineração. Na Figura 8, é possível visualizar a aplicação de Tecnossolo (5 cm de espessura), na área ardida da Parcela da Aveleda.



Figura 8. Aplicação de Tecnosolos na Parcela da Aveleda. Fonte: Ana Royer (2021).

Além de todas as ações acima elencadas, decorreu em paralelo a monitorização de artrópodes na área ardida, área de transição e área não ardida, (ação realizada pelo MORE Colab). Na Figura 9 é possível visualizar uma armadilha de captura de insetos instalada na área queimada. Os resultados preliminares podem ser encontrados em (Madeira et al., 2021), sendo que em termos de abundância, os artrópodes do solo capturados seguiram a sequência formigas, aranhas e escaravelhos. Apesar da pequena escala do experimento, os resultados indicam que a recuperação da comunidade de artrópodes do solo foi rápida, pois todos os grupos de artrópodes foram encontrados na parcela queimada dois meses após o fogo. Em termos de abundância, as formigas e aranhas parecem responder negativamente e os escaravelhos positivamente ao fogo, embora os autores ressaltam que as respostas são variáveis ao longo do tempo (Madeira et al., 2021).



Figura 9. Armadilha para captura de artrópodes (*Pitfall trap*). Foto: Ana Royer (2021).

O estudo desenvolvido na parcela da Aveleda é inovador, abrangente e multidisciplinar, envolvendo diversos atores regionais e interessados nas temáticas dos incêndios florestais. Dessa forma, será possível avaliar também o impacto da recorrência dos incêndios florestais e da resiliência dos recursos solo e vegetação, bem como a evolução da recuperação das áreas ardidas e a eficácia da aplicação de Tecnossolos como medida de mitigação dos impactos dos incêndios florestais.

2.1. Efeito dos fogos controlados na Parcela da Aveleda

Embora os valores absolutos reportados em relação às variáveis indicativas de degradação física do solo (permeabilidade, escoamento e perda de solo) pelo efeito do fogo na área de estudo, não sejam expressivos, elucidam, porém, sobre a complexidade das respostas dos processos hidrológicos e do solo nestas condições. Além disso, e especialmente no que se refere à erosão hídrica, deve-se considerar o facto de que a condição inicial corresponde a solos delgados, já degradados na sua capacidade de suportar uma significativa cobertura vegetal capaz de proteger o solo. A forma sigmoide observada da curva de resposta da erosão à precipitação cumulativa ao longo do período de monitoramento (Figura 7), mostra que a taxa inicial de perda de solo, diminui rapidamente para valores muito mais baixos e, isso é explicado principalmente pela escassez de materiais finos disponíveis para serem arrastados pelo escoamento superficial. Em áreas marginais ou degradadas como as

da presente área de estudo, de elevada pedregosidade superficial, a perda de solo medida não é alta, mas a escassez de materiais finos na superfície aumenta a sua importância num ambiente tão frágil.

As pesquisas realizadas também permitiram conhecer as taxas de recuperação do solo (Tabela 1). Embora a recuperação esteja em andamento e é mais rápida na camada superior do solo (0-5 cm), após 36 meses a camada superficial do solo de 20 cm de espessura ainda não atingiu a condição anterior ao fogo. Em comparação com os incêndios florestais, os fogos controlados têm impactos muito menores no solo, e este estudo não se concentrou realmente nos ativos amplamente comprovados desta prática de gestão florestal. Pelo contrário, chama a atenção para a elevada fragilidade das zonas marginais de montanha, onde ligeiros estresses ambientais provocam impactos significativos que podem durar muito tempo, visto que as lentas taxas de recuperação os deixam expostos a novos fatores adversos.

A dinâmica do armazenamento de carbono foi também avaliada para o primeiro fogo controlado, que compreende a avaliação antes do fogo até trinta e seis meses após o fogo (Fonseca et al., 2022). Detetaram-se mudanças no armazenamento de carbono em todos os compartimentos avaliados ao longo do tempo, sendo que o solo mineral é um sumidouro de carbono, enquanto que a biomassa vegetal dos arbustos e a manta morta são fontes de carbono. Trinta e seis meses após o fogo, o armazenamento de carbono na biomassa aérea das espécies arbustivas ($7,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$) foi aproximadamente dois terços do registado antes do fogo, e no horizonte orgânico ($1,6 \text{ Mg C ha}^{-1}$) cerca de metade da do solo original (antes do fogo). Em oposição, o solo mineral apresentou um aumento de 10% de carbono ($6,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$). Com base no balanço entre perdas (espécies arbustivas e horizontes orgânicos) e ganhos (solo mineral), no final do período de monitoramento (36 meses), houve uma taxa anual positiva de armazenamento de carbono, equivalente a $0,2 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Figura 10). Mesmo após distúrbios antrópicos, como o fogo controlado, as comunidades arbustivas constituem importantes reservatórios de carbono terrestre; portanto, esses ecossistemas podem desempenhar um papel importante na mitigação das mudanças climáticas (Fonseca et al., 2022).

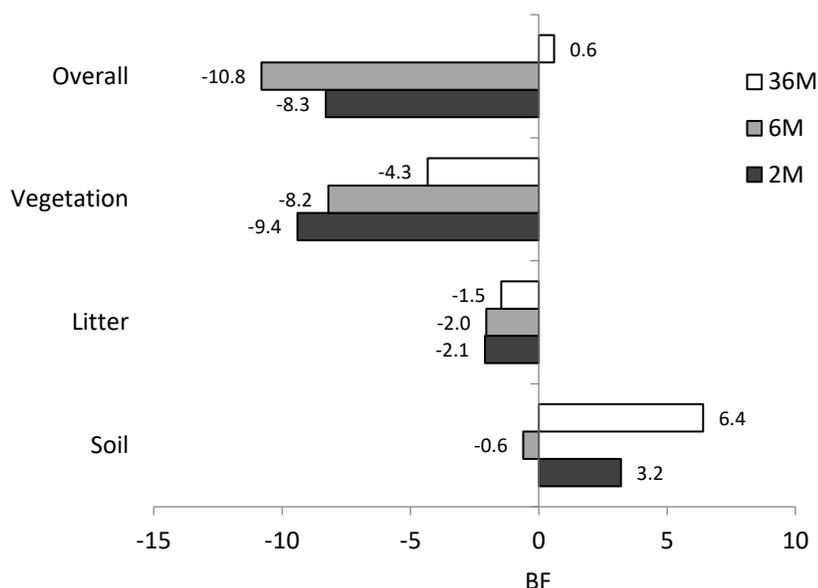


Figura 10. Variação do carbono armazenado (Mg ha^{-1}) nos compartimentos solo, horizonte orgânico e vegetação, ao longo do período experimental (2 M, 6 M e 36 M) em relação à situação pré-fogo (BF). Fonte: Fonseca et al. (2022).

Relativamente ao segundo fogo prescrito, realizado em 2021, Santos (2022) efetuou a análise da estabilidade dos agregados do solo na área ardida e no solo original. Para o efeito, considerou duas classes de tamanho de agregados (0,25 e 0,4 mm) e quatro profundidades (0-3, 3-6, 6-10 e 10-20 cm) nos períodos de amostragem antes do fogo, imediatamente pós-fogo, dois e sete meses pós-fogo. Assim, foi possível realizar a comparação da estabilidade da agregação antes e pós-fogo, os impactos em profundidade e nas classes de tamanho dos agregados ao longo do tempo. Observou que o fogo contribuiu de forma significativa para a redução da estabilidade dos agregados do solo, visto que ocorreu uma redução da estabilidade na área ardida, para ambas as classes de agregados (Figura 11A). Além disto, foi constatado que a classe de tamanho dos agregados é um fator que influencia a sua estabilidade, sendo mais estáveis as classes de menores dimensões (0,25 mm). Conforme pode ser observado na Figura 11B, o fogo também contribuiu para a

redução da estabilidade da agregação ao longo do tempo e da profundidade do solo (Santos et al., 2022).

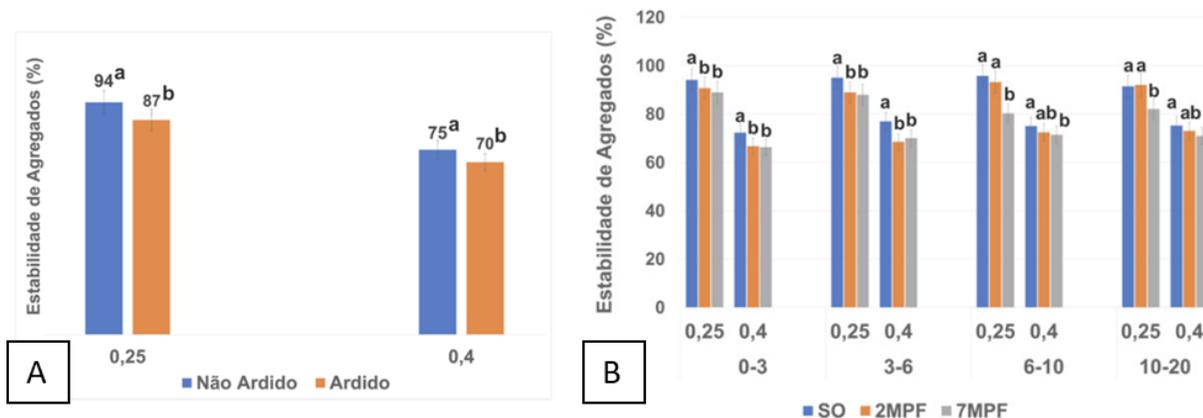


Figura 11. A: Estabilidade dos agregados na área ardida e não ardida, para as classes de 0,25 e 0,4mm. B Estabilidade dos agregados em profundidade para os diferentes períodos de amostragem (SO: solo original, 2MPF: dois meses após o fogo, 7MPF: sete meses após o fogo). Letras diferentes nas colunas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$). Fonte: Santos et al. (2022).

Também foi avaliada a respiração do solo, e a aplicação do Tecnosolo mostrou-se efetiva no seu objetivo de promover a aceleração dos processos de recuperação da área ardida, tendo os valores de respiração ultrapassado os valores da área de controle (não ardida) (Braga, 2023).

3. Povoamentos florestais na Serra da Nogueira

3.1. *Impacto da substituição de espécies florestais no solo e nos serviços de ecossistema*

A Serra da Nogueira é formada por um maciço montanhoso que abrange os concelhos de Bragança, Macedo de Cavaleiros e Vinhais, apresentando uma extensão de aproximadamente 13 km. A vegetação climácica é constituída por *Quercus pyrenaica* (QP), que ocupa cerca de 6000 ha e constitui a maior mancha contínua de QP na Europa. Ao longo das últimas décadas, parte da área de QP foi substituída por outras espécies florestais, nomeadamente *Pseudotsuga menziesii* (PM) e *Pinus nigra* (PN), processo onde os incêndios tiveram um papel relevante. A área selecionada para estudar o impacto da substituição da vegetação climácica por espécies de crescimento rápido (PM e PN) nas propriedades do solo e no armazenamento de carbono no sistema, localiza-se a 41°45' N e 6°52' W, numa faixa de altitude que varia entre 1000 e 1100 m, com temperatura média anual de 12°C e precipitação média anual de 1100 mm. Os solos estão integrados na unidade Leptosolos úmbricos derivados de rochas básicas (Agroconsultores & Coba, 1991), apresentando elevada pedregosidade, normalmente subácidos, teor de matéria orgânica moderado a alto, e concentrações muito baixas de fósforo e moderadas a altas de potássio.

O solo mineral e a biomassa das árvores constituem os maiores reservatórios de carbono nos ecossistemas terrestres e, a substituição de espécies florestais pode influenciar significativamente a quantidade de carbono armazenada nos diversos compartimentos (biomassa, horizonte orgânico e solo mineral). Para avaliar o impacto da substituição das espécies no armazenamento de carbono em quatro compartimentos (biomassa das espécies florestais, biomassa da vegetação herbácea, horizonte orgânico e solo mineral), foram selecionadas três áreas de amostragem em locais adjacentes com condições edafoclimáticas idênticas. A primeira área, coberta por *Quercus pyrenaica* (QP), representa o solo original. A segunda área localiza-se num povoamento de *Pseudotsuga menziesii* (PM) com 30 anos, e a terceira, num

povoamento de *Pinus nigra* (PN), também com 30 anos de idade (Figura 12). Em cada área de amostragem, três parcelas de 314 m² foram definidas aleatoriamente, e medida a altura e o diâmetro na altura do peito de todas as árvores, a fim de caracterizar os povoamentos e estimar a biomassa das espécies florestais. A vegetação herbácea e o horizonte orgânico foram colhidos em áreas de 0,49 m² em 15 pontos por espécie (5 por parcela). Nos mesmos pontos, foram também colhidas amostras de solo perturbadas e não perturbadas nas profundidades 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-30 cm.



Figura 12. Imagens da área de amostragem de *Quercus pyrenaica* (QP), *Pseudotsuga menziesii* (PM) e *Pinus nigra* (PN), respetivamente, na Serra da Nogueira. Fonte: Carvalho (2018).

Trinta anos após a substituição da vegetação climácica, e em relação ao carbono armazenado na biomassa das espécies florestais, mais de 70% do carbono está armazenado na biomassa aérea: 71% (57 Mg C ha⁻¹), 72% (141 Mg C ha⁻¹) e 80% (91 Mg C ha⁻¹) para as espécies QP, PM e PN, respetivamente (Figura 13A). O armazenamento de carbono na biomassa das raízes de PM (55 Mg C ha⁻¹, equivalente a 1,8 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹) excedeu o dobro do encontrado nos povoamentos PN e QP (23 Mg C ha⁻¹ para ambas as espécies). A contribuição do armazenamento de carbono na

vegetação herbácea para o carbono total armazenado é muito baixa (0, 0,2 e 0,3% para as espécies PM, PN e QP, respetivamente), (Figura 13B), adicionando ao sistema 0,48 Mg C ha⁻¹ em PN e 0,84 Mg C ha⁻¹ em QP.

A matéria seca do horizonte orgânico acumulada na superfície do solo é significativamente superior para as espécies PM (31,8 Mg ha⁻¹) e PN (27,1 Mg ha⁻¹), comparativamente a QP (18,4 Mg ha⁻¹). Também, o armazenamento de carbono no horizonte orgânico foi significativamente superior sob PM (11,1 Mg C ha⁻¹) e PN (13,1 Mg C ha⁻¹) em relação a QP (8,2 Mg C ha⁻¹), que corresponde a uma acumulação adicional de 97 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e 163 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para as espécies PM e PN.

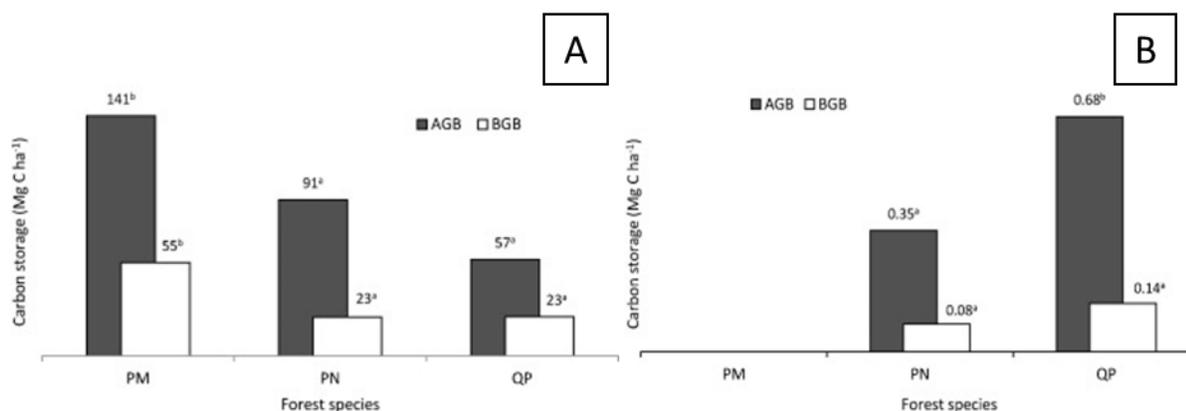


Figura 13. A: Armazenamento de carbono na biomassa aérea (AGB) e na biomassa das raízes (BGB) das espécies florestais *Pseudotsuga menziesii* (PM), *Pinus nigra* (PN) e *Quercus pyrenaica* (QP). B: Armazenamento de carbono na biomassa aérea (AGB) e na biomassa das raízes (BGB) na vegetação herbácea. Para cada componente da biomassa, os valores médios com a mesma letra não são significativamente diferentes ($p > 0,05$). Fonte: Fonseca et al. (2019).

A introdução das espécies PM e PN, por substituição do QP (vegetação climática), reduziu significativamente a concentração de carbono em todas as camadas do solo, como pode ser observado na Figura 14. As diferenças significativas encontradas entre as espécies introduzidas (PM e PN) e a espécie a nativa (QP) devem-se, principalmente aos distúrbios causados no solo durante a instalação dos povoamentos de PM e PN, que favoreceu a mineralização da matéria orgânica do

solo, sendo a camada superficial (0-5 cm) a que sofreu maiores perdas de carbono. Tendo em conta os valores de armazenamento de carbono no solo e sabendo que a matéria orgânica é um constituinte essencial na manutenção das propriedades do solo, e, conseqüentemente, na conservação de todo o ecossistema, a substituição de espécies pode estar a contribuir para a degradação atual e a longo prazo do ecossistema (Fonseca et al., 2019).

Analisando de forma global o sistema, ganhos de carbono são observados na biomassa das espécies florestais (1,2 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ em PN e 3,9 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ em PM) e no horizonte orgânico (1,3 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ em PN e 4,0 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ em PM) e perdas significativas foram registadas no reservatório de carbono do solo (cerca de 2,2 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹). O carbono total acumulado é significativamente superior em PM (331 Mg C ha⁻¹) em comparação com PN (246 Mg ha⁻¹) e QP (273 Mg C ha⁻¹), que apresentam valores estatisticamente semelhantes.

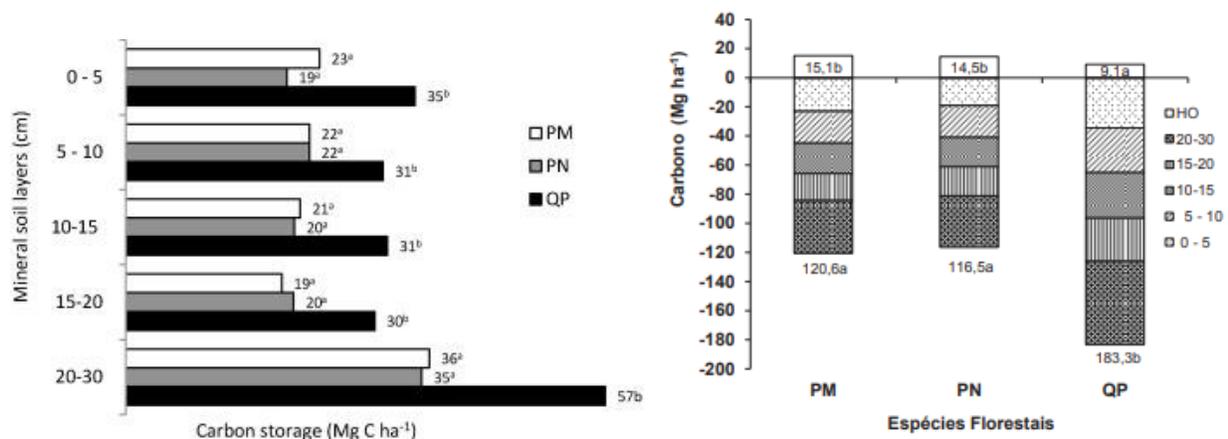


Figura 14. Armazenamento de carbono nas camadas do solo das espécies *Pseudotsuga menziesii* (PM), *Pinus nigra* (PN) e *Quercus pyrenaica* (QP). Para cada camada de solo, os valores médios com a mesma letra não são significativamente diferentes ($p > 0,05$). Fonte: Fonseca et al. (2019).

A Figura 15 compara a variação do armazenamento de carbono nos diferentes compartimentos das espécies introduzidas em relação à espécie autóctone (QP). O carbono armazenado na biomassa das espécies PM e PN apresentou um aumento

considerável 30 anos após a substituição da floresta nativa, uma vez que em QP representa 29% (80 Mg C ha^{-1}) do total, passando para 60% (196 Mg C ha^{-1}) em PM e para 47% (114 Mg C ha^{-1}) em PN. Nas espécies PM e PN e, principalmente em PM, os acréscimos de carbono proporcionados pela biomassa das espécies florestais e pelos horizontes orgânicos foram suficientes para compensar as reduções verificadas no solo até 30 cm de profundidade, atingindo valores semelhantes (PN) e significativamente superiores (PM) aos registados na situação original (QP) (Fonseca et al., 2018).

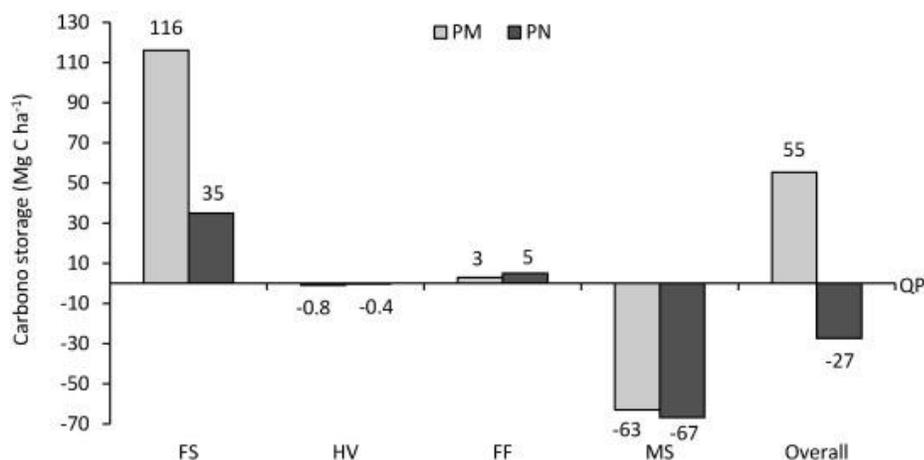


Figura 15. Variação no armazenamento de carbono em todos os compartimentos de *Pseudotsuga menziesii* (PM) e *Pinus nigra* (PN) em comparação com o solo original (QP). Espécies florestais (FS), vegetação herbácea (HV), horizonte orgânico (FF) e camadas de solo mineral (MS). Fonte: Fonseca et al. (2019).

Mais recentemente, Méndez-López et al. (2022) realizaram um estudo, com especial enfoque na avaliação dos teores de Mercúrio (Hg) total e acumulado nos horizontes orgânicos do solo. Além disso, o estudo também avaliou, para cada espécie, as relações entre os teores de Hg e outros elementos biofílicos (C, N, S) presentes nos sub-horizontes orgânicos: OL (litter), OF (fermented), OH (Humic).

As médias de Hg total nos horizontes orgânicos das diferentes espécies arbóreas seguem a seguinte sequência: PN ($88 \mu\text{g kg}^{-1}$) < QP ($101 \mu\text{g kg}^{-1}$) < PM ($141 \mu\text{g kg}^{-1}$). A maior acumulação de Hg para todo o horizonte orgânico foi encontrada para a espécie PM ($471 \mu\text{g m}^{-2}$), seguida de PN ($253 \mu\text{g m}^{-2}$) e QP ($189 \mu\text{g m}^{-2}$). Entre os sub-horizontes orgânicos, os valores de Hg total e Hg acumulado seguem a sequência OL < OF < OH, o que é compatível com o grau de humificação da matéria orgânica (Figura 16). De facto, Hg total e Hg acumulado, correlacionaram-se significativamente com as razões C/N e C/S para todas as espécies e sub-horizontes orgânicos, sugerindo que a qualidade da matéria orgânica pode influenciar fortemente o destino do Hg nesses solos florestais. Os solos das parcelas de PM mostraram um Hg acumulado 2,5 vezes maior do que nas parcelas dominadas pela espécie nativa QP. A acumulação de Hg nos horizontes orgânicos, promovida nas espécies coníferas, pode aumentar o risco de mobilização de Hg devido a incêndios florestais e práticas de gestão florestal (lixiviação, perda no escoamento, revolatilização).

Embora os horizontes orgânicos das espécies de crescimento rápido introduzidas (PN e PM) tenham contribuído para um aumento do sumidouro de Hg comparativamente à espécie nativa (QP), este fato pode não ser considerado apenas como uma vantagem. Assim, uma maior acumulação de Hg implica também maior risco de futura mobilização de Hg associada às atividades de gestão florestal ou incêndios florestais. Nesse sentido, os planos de gestão florestal devem considerar como ponto-chave a seleção de espécies florestais adequadas para o reflorestamento, levando em consideração a exploração comercial e as consequências ambientais associadas às modificações dos ciclos biogeoquímicos dos elementos e, principalmente, de contaminantes altamente tóxicos como é o caso do Hg.

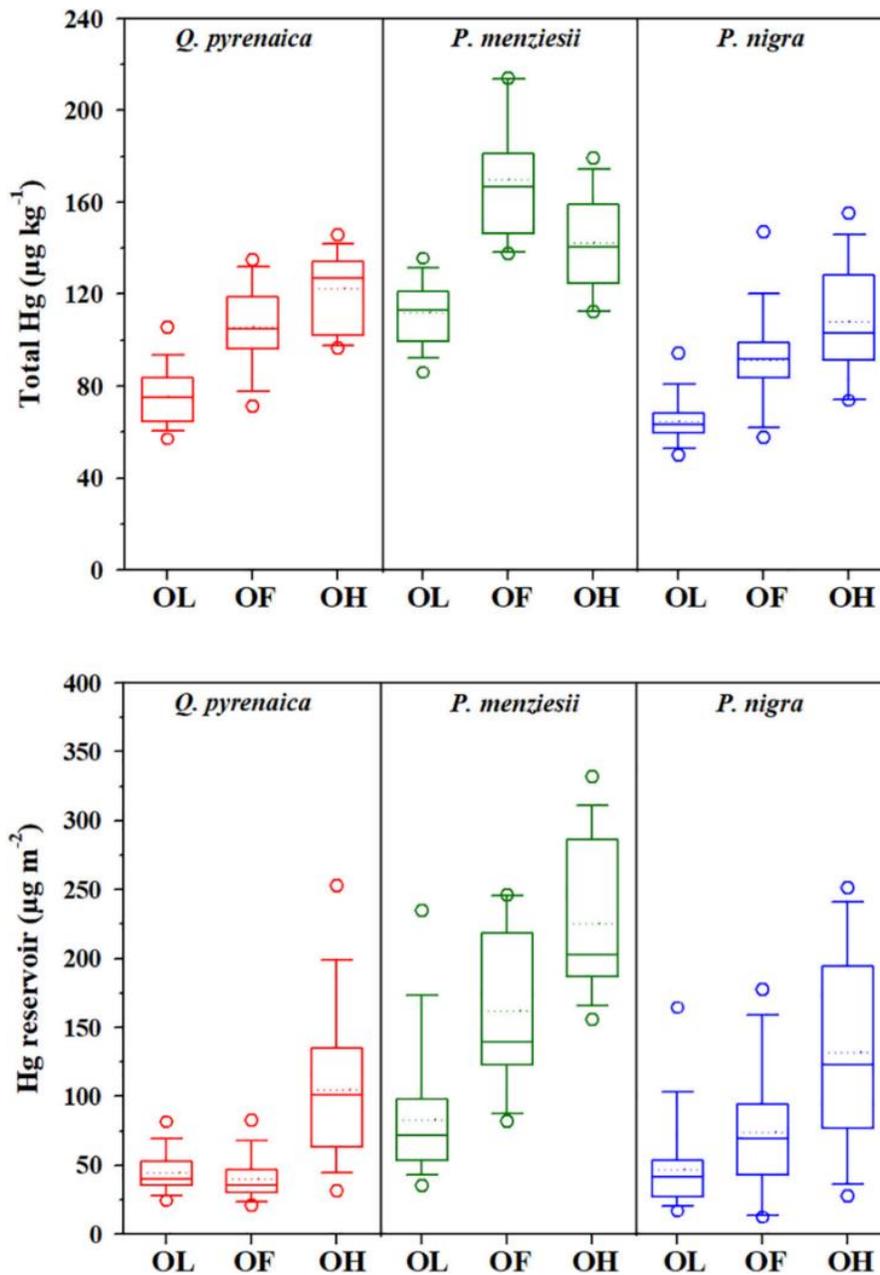


Figura 16. Boxplot das concentrações totais de Hg e acumuladas (reservatório) para cada espécie e sub horizonte orgânico OL (litter), OF (fermented), OH (Humic). Fonte: Méndez-López et al. (2022).

Parte II

A fileira olivícola na Terra Quente Transmontana

Viagem de estudo 2

*Zulimar Hernández, Tomás de Figueiredo, Felícia Fonseca, Ana Caroline Royer,
Renecleide Viana dos Santos, Silvana Costa, Ana Beatriz Segatelli*



4. Conservação dos solos em olivais

O projeto Man4Health - New management strategies in olive groves for improving soil health and crop yield (NORTE-01-0145-FEDER-000060), visa aumentar a resiliência e a produtividade dos olivais através da melhoria das propriedades físicas do solo. Ao abrigo do projeto existem alguns ensaios em andamento que pretendem investigar: i) hábitos e desenvolvimento radicular da vegetação herbácea na entrelinha; ii) efeito da vegetação herbácea e do sistema radicular em propriedades físicas (estabilidade de agregação) e processos do solo (dinâmica da água no solo e erosão); iii) biomassa vegetal da entrelinha; e iv) suas interações.

Os ensaios experimentais de campo deste projeto são realizados em um olival tradicional, com 20 anos de idade, localizado em Suçães, Mirandela (41°29'19.81"N 7°14'53.2"W). O relevo local possui declive moderado e elevação média de 355 m acima do nível do mar. Segundo a classificação de Köppen-Geiger (Köppen, 1936) o clima é Csa, temperado húmido com verão quente e seco. De acordo com as normais climatológicas no período de 1971 a 2000, a precipitação média anual é de 508 mm, sendo a distribuição típica mediterrânica sazonal, com verões secos, e com chuvas concentradas no outono e inverno (IPMA, 2023). O solo é classificado como Leptossolo eutrício órtico de xistos com textura franco-arenosa (Agroconsultores & Coba, 1991; Araújo et al., 2004).

O pomar foi dividido em duas subáreas com diferentes práticas de gestão do solo (com mobilização e sem mobilização). Uma parcela de cada subárea foi semeada para formar o coberto vegetal e na outra parcela não foi realizada sementeira, sendo o coberto vegetal formado pelas ervas espontâneas. Cada tratamento foi aplicado numa área de 49 m², correspondente a 4 árvores com compasso de 7x7 m, com 6 repetições (Figura 17).

A título de contextualização e enquadramento para o avanço dos ensaios propostos no âmbito do projeto, inicialmente foi realizado um estudo para atualização dos parâmetros de caracterização edafoclimática dos solos sob olival no Nordeste de

Portugal e a informação abaixo apresentada (tópico 4.1) é componente do trabalho publicado por Santos et al. (2022) intitulado “Características Edáficas das Áreas de Olival do Nordeste de Portugal: abordagem baseada em cartografia de solos e ocupação do solo”.

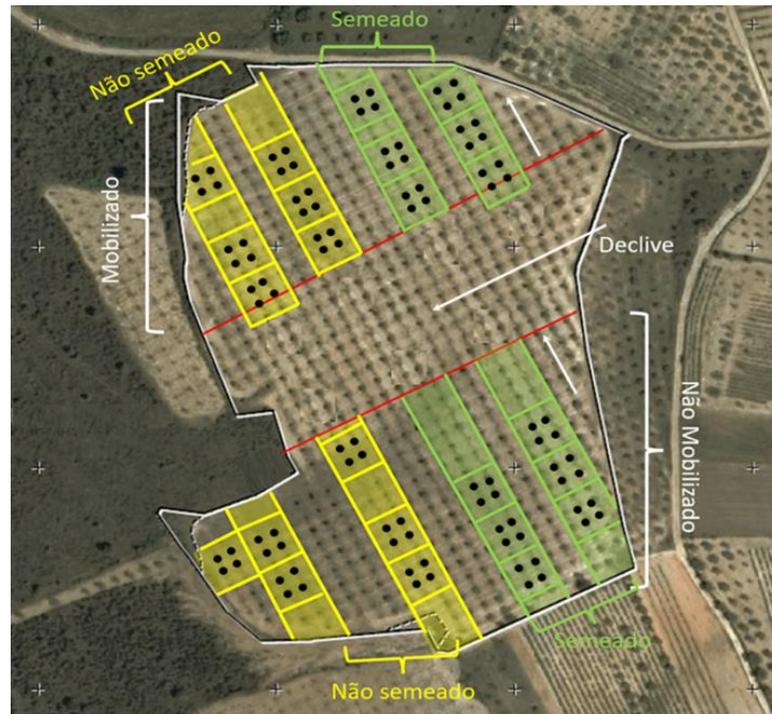


Figura 17. Delineamento experimental na área de estudo em Suções - Mirandela, NE de Portugal.

4.1. *Áreas de olival no Nordeste de Portugal*

O olival cobre aproximadamente 105 mil ha no NE de Portugal (cerca de 7% do território) e é a cultura que ocupa a maior área agrícola da região de Trás-os-Montes (21%). Dos Concelhos que compõem a região, 90% apresentam alguma área destinada ao cultivo de oliveiras em menor ou maior extensão, sendo a maior percentagem de superfície afetada ao olival situado na zona central de Trás-os-Montes (Mirandela, Macedo de Cavaleiros, Valpaços, Alfândega da Fé e Vila Flor), responsáveis por 55% da área agrícola com oliveiras e ao longo do rio Douro (Mogadouro, Torre de Moncorvo e Vila Nova de Foz Côa) com uma participação de

17% do total regional (Figura 18). A oliveira é atualmente a cultura que ocupa a segunda maior superfície agrícola em Portugal (379 mil hectares em 2020) (INE, 2021). Atualmente o Nordeste tem uma participação de 28% na área agrícola total portuguesa destinada ao cultivo da oliveira (Santos et al., 2022).

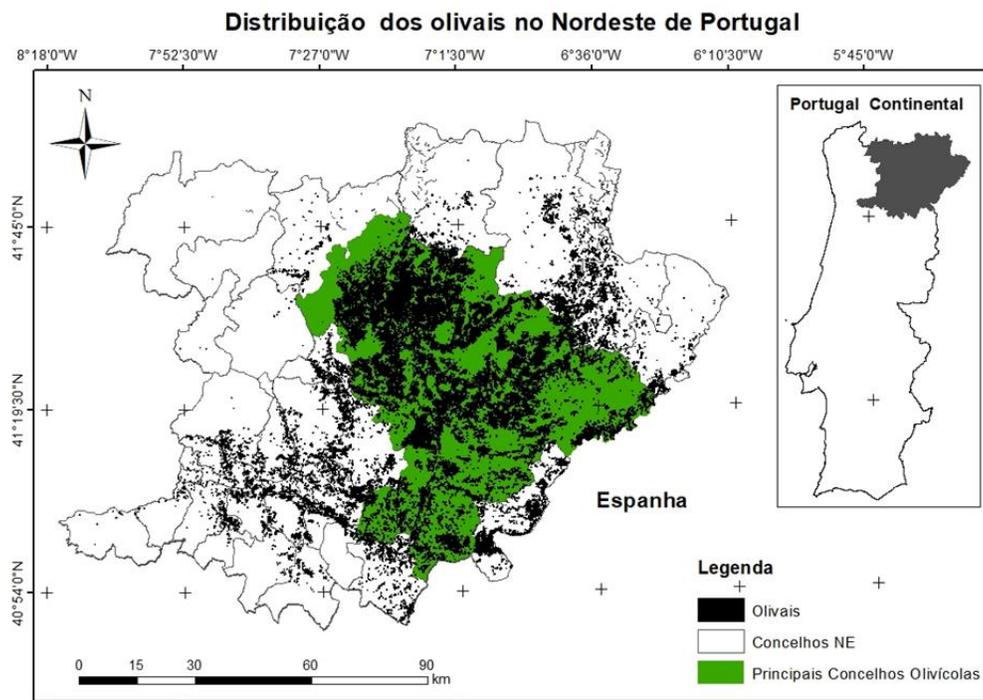


Figura 18. Esboço cartográfico da distribuição dos olivais no NE de Portugal. Os Concelhos coloridos a verde (Mirandela, Macedo de Cavaleiros, Valpaços, Alfândega da Fé, Vila Flor, Mogadouro, Torre de Moncorvo e Vila Nova de Foz Côa) são os de maior contributo.

As principais conclusões deste estudo foram:

1. Os olivais são um elemento caracterizador da paisagem e com grande importância para o desenvolvimento socioeconómico do Nordeste Transmontano.
2. A sua distribuição e densidade concentram-se nas zonas climáticas mais secas e quentes, onde o carácter Mediterrâneo é mais marcante.

3. Os solos sob olivais são na sua maioria pouco profundos, pedregosos, ácidos e pobres em matéria orgânica. A cultura ocupa em grande parte terrenos declivosos.
4. Globalmente, as terras com olivais foram classificadas com aptidão marginal ou nula para a agricultura. No entanto, as oliveiras apresentam boa adaptação aos parâmetros edafoclimáticos regionais, com expressivas produções de azeites regionais de boa qualidade.
5. Necessidade de adequação e contextualização dos parâmetros utilizados na definição das limitações ao uso da terra pelo olival, de forma a trazer informações que melhor traduzam o observável no terreno.
6. É necessário implementar práticas alternativas que promovam uma melhor gestão dos pomares, para o que é importante aprofundar o conhecimento dos solos das áreas de olival.

4.2. Erosão do solo

Até o momento, o ensaio nas parcelas para estimativa da erosão do solo é o que se encontra mais avançado e os resultados mais robustos obtidos se referem a investigação do papel da vegetação herbácea na atenuação do processo erosivo em diferentes formas de gestão do solo sob olival. Deste modo, a informação encontrada abaixo faz uma breve contextualização do estudo que está a decorrer na área e apresenta alguns resultados já obtidos.

Foram instaladas 4 parcelas de erosão, tendo como referência o maior declive, cada uma com 4m² (4 metros de comprimento por 1 metro de largura), em cada área, totalizado 8 parcelas que foram submetidas aos tratamentos identificados. Das 4 parcelas instaladas na área mobilizada, um par foi semeado (MobS) e o outro não (MobNS). As demais 4 parcelas instaladas na área não mobilizada foram submetidas ao mesmo tratamento, sendo o par semeado identificado como NMobS e o par não semeado identificado como NMobNS. Assim foi possível avaliar a perda de solo (kg ha⁻¹), o escoamento superficial (mm) e a percentagem de cobertura do solo ao longo

dos eventos de precipitação, que totalizaram 7 ciclos de colheitas no período de um ano (março de 2022 a março de 2023).

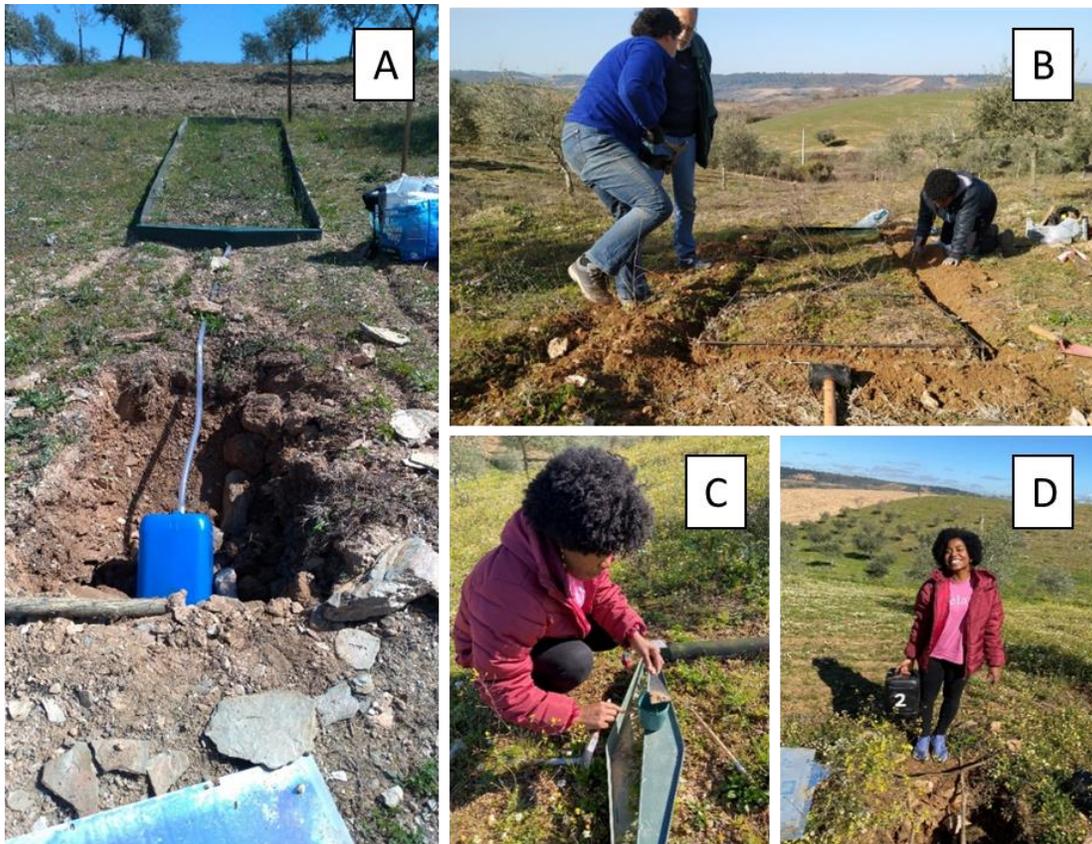


Figura 19. Parcelas para estimativa de erosão na área de estudo. A - Parcela de erosão e reservatório destinado a coleta da água de escoamento e sedimentos; B - Instalação da parcela. C - Coleta de sedimentos armazenados no dispositivo de frente; D - Troca do reservatório.

Fonte: Renecléide Santos (2023).

A precipitação acumulada ao longo das 7 colheitas foi de 565 mm. O gráfico da distribuição da precipitação destaca o caráter mediterrânico, onde a concentração das chuvas está compreendida entre o outono e o inverno. Ao observar o comportamento da precipitação acumulada ao longo do tempo, é possível notar que os maiores volumes de chuva registados têm início no mês de outubro de 2022 e a linha tem uma tendência de subida considerável até o mês de janeiro de 2023. (Figura 20).

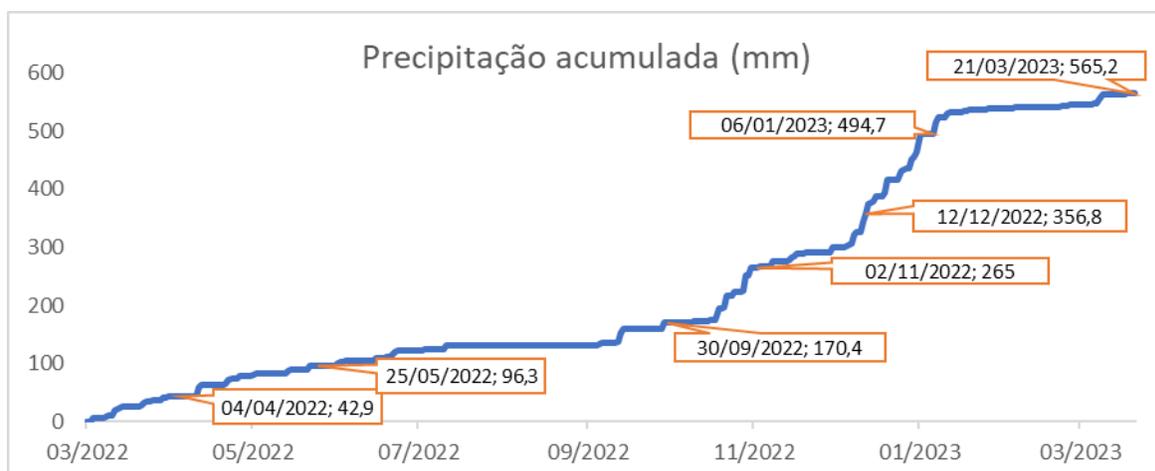


Figura 20. Valores de precipitação acumulada ao longo de 7 ciclos de colheita (um ano).

A média da perda de solo (PS) anual foi de 605, 502, 350 e 255 kg ha⁻¹ para os tratamentos MobS, MobNS, NMobS e NMobNS, respectivamente. Isso demonstra uma tendência de maiores riscos de erosão para solos submetidos a operações de preparo, devido a perturbação da sua estrutura provocada pelo revolvimento das camadas subsuperficiais que conseqüentemente o deixa mais suscetível, principalmente no caso de terrenos com maiores declives.

As percentagens obtidas para a cobertura do solo ao longo dos ciclos de colheita revelaram que as maiores médias, 65 e 56%, se encontraram nos tratamentos em que não foi realizada a sementeira, respectivamente NMobNS (Figura 21) e MobNS, sendo a cobertura vegetal propiciada apenas pela vegetação espontânea. Nos tratamentos em que foi realizada a sementeira obtiveram-se percentagens menores, 51% no NMobS e 41% no MobS.

No tocante ao escoamento (E), o resultado para os tratamentos que envolveram a mobilização do solo foi muito parecido com o verificado para a perda de solo, de forma que no decorrer do ano de análises foram escoados 9,8 mm no MobS e 10,3 mm no MobNS. Mesmo para as parcelas sem mobilização, os valores não destoaram, sendo que no tratamento NMobS a média de escoamento anual foi 30% maior (12,6 mm) em relação ao MobS e no NMobNS o escoamento foi 27% menor (7,5 mm) quando comparado com o MobNS.

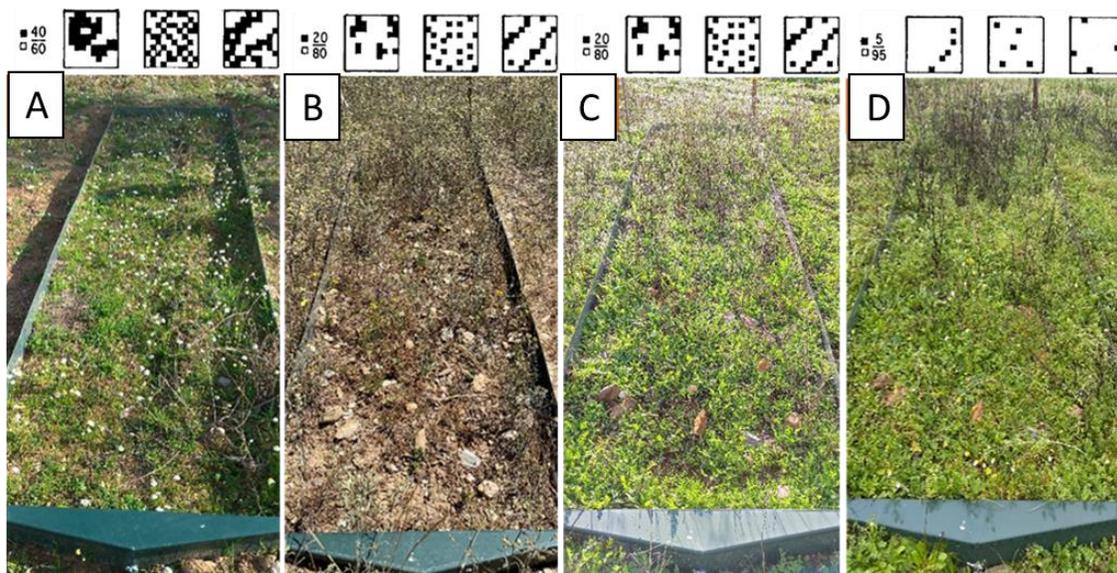


Figura 21. Comportamento da vegetação herbácea da parcela NMobNS, tendo como referência o guia de porcentagem de cobertura disponível em Dissmeyer (1984). A - Porcentagem de cobertura do solo (%CobS) 60 em 03/22; B - %CobS 20 em 05/22; C - %CobS 80 em 11/22; D - %CobS 95 em 01/23. Fonte: Renecléide Santos (2023).

Os resultados globais sugerem que a cobertura vegetal formada de maneira natural (espontânea) representou os melhores efeitos do ponto de vista da cobertura do solo, e conseqüentemente da proteção deste contra a erosão, principalmente quando estava associada a menores formas de perturbação da sua estrutura.

Apesar dos condicionalismos edafoclimáticos regionais os olivais estão aqui bem adaptados, como já foi sublinhado por Santos et al. (2022). Por outro lado, representam uma cultura que também se destaca no panorama crescente e insustentável de degradação do solo da Região (Figueiredo, 2013). O caminho para a conservação do solo passa pela preservação dos ecossistemas terrestres e pela produção agrícola, exigindo assim que o foco não seja pautado no sentido da manutenção das culturas enquanto se esgotam os recursos ali presentes para posterior abandono das terras que outrora eram produtivas, mas sim em mudanças que efetivamente visem proteger e fortalecer o solo, associadas a melhorias na gestão das parcelas cultivadas para que os agroecossistemas tenham capacidade de se estabelecer e permanecer produtivos.

5. Alternativas eco eficientes ao subproduto da fileira do olival: o bagaço de azeitona

5.1. Estado atual e problemática ambiental

De acordo com os dados disponibilizados pela FAO, mais de três mil Gg de azeite foram produzidos em todo o mundo em 2020 (FAO, 2023). Destas, quase dois terços são gerados nos países mediterrânicos da UE, nomeadamente Espanha, Grécia, Itália, Turquia e Portugal (Figura 22). Para o ano de 2019, Portugal registou uma produção de 100 Gg de azeite, constituindo um forte pilar da economia nacional, que dois anos mais tarde registou uma contribuição de 700 milhões de euros para o produto interno bruto português. Este mercado está praticamente centralizado nas regiões do interior, Alentejo, Trás-os-Montes e Alto Douro, sendo a última, responsável por cerca de 9% da produção nacional (INE, 2021).

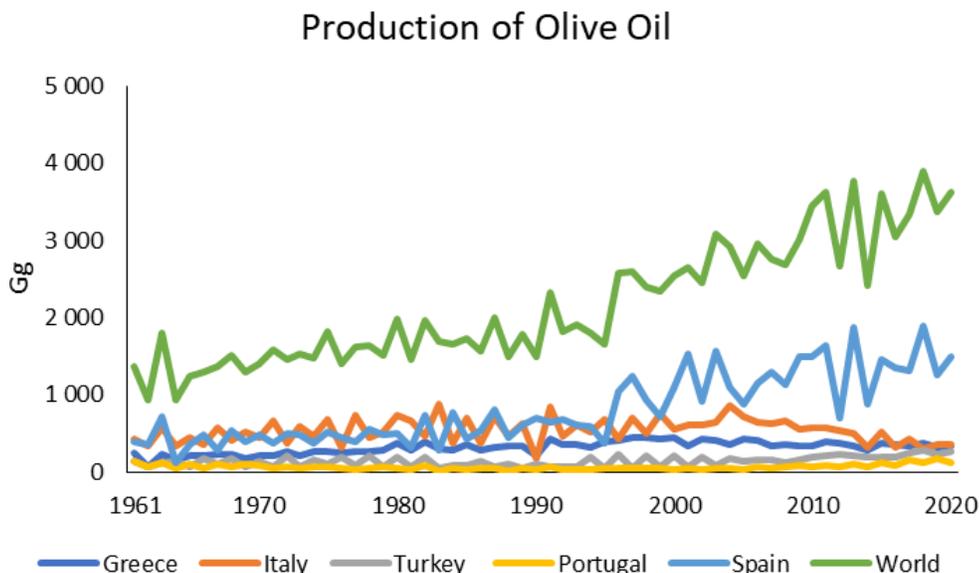


Figura 22. Índice de produção de azeite a nível mundial da União Europeia e discriminação dos principais contributários no território europeu (Espanha, Grécia, Itália, Turquia, Portugal). Fonte: FAO (2023).

Até à década de 70, os lagares portugueses extraíam o azeite num sistema de extração de três fases. Do processo de extração trifásico resultavam três produtos: o azeite (12-25%), o bagaço de azeitona (35-45%) e as águas-ruças. No entanto, este método apresentava a desvantagem de requerer uma enorme quantidade de água durante a malaxagem. Este elevado consumo de água (1,25 l/kg de azeitona) e a consequente produção de águas residuais (águas ruças) passou a ser o maior desafio para os lagares, uma vez que a elevada carga orgânica e demanda de oxigénio das águas ruças (CQO~35-110 g/L) tornavam mais dispendioso e consequencialmente, impossibilitavam a aplicação de tratamentos convencionais, eficazes para a generalidade das águas residuais industriais.

Assim, desde o início da década de 2000, o setor oleícola foi alvo de grandes investimentos, no sentido de se tornar mais célere e automatizado, passando a atuar segundo um processo de extração bifásico (Figura 23). Para o mesmo período (2000-2021), a área superficial de olival em Portugal registou um crescimento de mais de 13 mil ha (INE, 2022). A adoção deste método de extração bifásico permitiu, para além da redução de 80% do consumo de água nos lagares (de 1,25 para 0,25 l/ kg de azeitona), a geração de um único subproduto húmido: o bagaço de azeitona (BA, 65-70% de água), em detrimento das águas-ruças. No entanto, o BA resultante contém ainda uma quantidade residual de gordura, pelo que, tradicionalmente, é enviado para as indústrias extratoras que rececionam e processam o BA, com a finalidade de extrair azeite lampante e óleo de BA. No processo gera-se ainda outro subproduto: o bagaço extratado seco (BES) que é usado como biomassa.

Optando pelo sistema de extração bifásico, os lagares encontraram nas indústrias extratoras uma solução não só para o escoamento de todo o BA gerado, mas de todos os resíduos resultantes que viriam a ficar da total responsabilidade das indústrias extratoras. Por este motivo, desde 2020 que o transporte de BA e custos associados passaram a estar ao encargo dos lagares. Sumariamente, a extração de óleo de BA está centralizada num número reduzido de indústrias extratoras em todo o país, cuja maquinaria é obsoleta e muito pouco eco eficiente. De facto, das 600 Gg de BA produzidas anualmente em Portugal, cerca de 100 Gg são geradas no Nordeste

transmontano, sendo que o 80% deste volume é encaminhado para uma única indústria extratora na região, o que supõe um grave risco ambiental devido ao seu armazenamento em balsas exteriores.

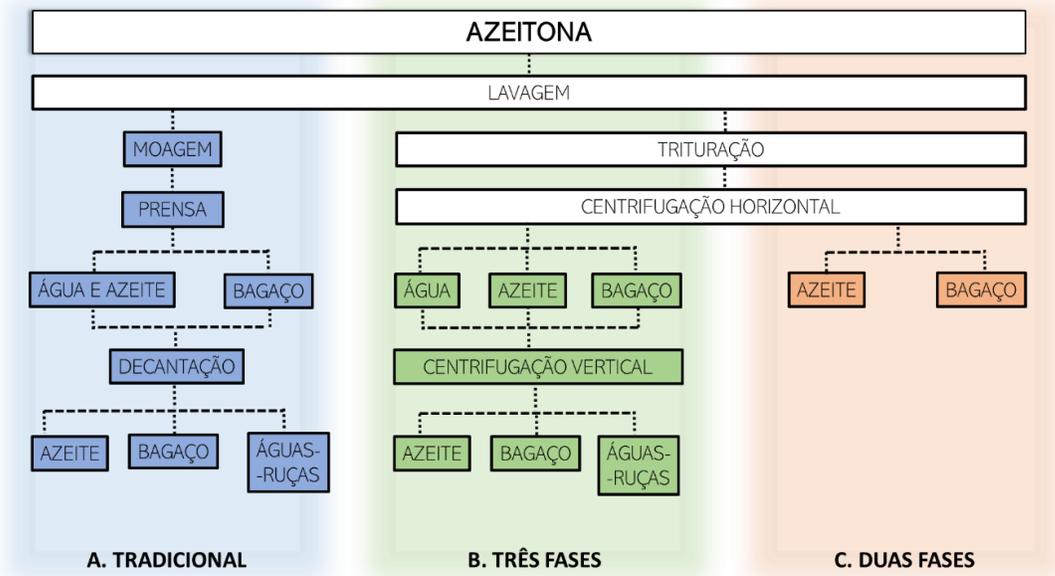


Figura 23. Esquema dos diferentes tipos de processos industriais de azeite (A. tradicional, B. três e C. duas fases), com a conseqüente produção de subprodutos e resíduos. Fonte: Costa, S. (2023).

Na Figura 24, observa-se uma balsa de armazenamento onde o BA é depositado a céu aberto durante meses até poder ser processado, dado que os volumes rececionados diariamente (200-300 t) são superiores à capacidade de processamento da indústria (100 t/d). No processo industrial para extrair a gordura remanescente do BA, dentro da fábrica, é utilizado um sistema trifásico onde são produzidos grandes volumes de águas ruças. Perante o grande risco ambiental que o setor oleico constitui, provocados pela poluição sonora, dos solos, ar e água (Figura 25) e agravadas pela conectividade existente com cursos de água adjacentes de elevada relevância, tributários do rio Douro (Figura 26), é necessário melhorar a ecoeficiência desta indústria para apresentar soluções ambientalmente sustentáveis para os subprodutos e resíduos por ela gerados.



Figura 24. Balsa de armazenamento de bagaço de azeitona onde o subproduto é depositado até poder ser processado pela indústria extratora.



Figura 25. Lagoas de armazenamento de águas-ruças a céu aberto na indústria extratora sujeitas a processos de fotólise, evaporação e decantação, durante meses. Fonte: Costa, S. (2023).



Figura 26. Evidências de poluição do ar nas indemiações da indústria (à esquerda) e da poluição da água através de canais de descarga para um afluente do rio Tua (à direita). Fonte: Costa, S. (2023).

5.2. Monitorização ambiental do rio Tua

Atendendo à necessidade de quantificar o impacto ambiental desta indústria na qualidade das águas do rio Tua (Mirandela), uma extensa monitorização ambiental foi efetuada em 8 locais (5 a montante, 1 no local de descarga industrial e 2 a jusante da extratora), sazonalmente e durante um ano. Apesar do impacto ambiental visível no canal de descarga industrial no rio (Fig. 26), diversas métricas concordantes com a Diretiva Quadro-Água foram determinadas de modo a classificar a qualidade ecológica dos ecossistemas envolventes à fábrica (Costa et al., 2022, 2023).

Análises das águas: Das análises e parâmetros avaliados na água, destacam-se as variações dos valores dos parâmetros físico-químicos da água: condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH, oxigénio dissolvido ($\text{mg O}_2/\text{L}$) e sólidos totais dissolvidos (mg/l) (Figura 27). Para o local de amostragem localizado no ponto de convergência entre o canal de descarga industrial e o afluente do rio Tua, os resultados revelaram não só os efeitos das contínuas descargas industriais, mas também do efeito sazonal associado à olivicultura (inverno).

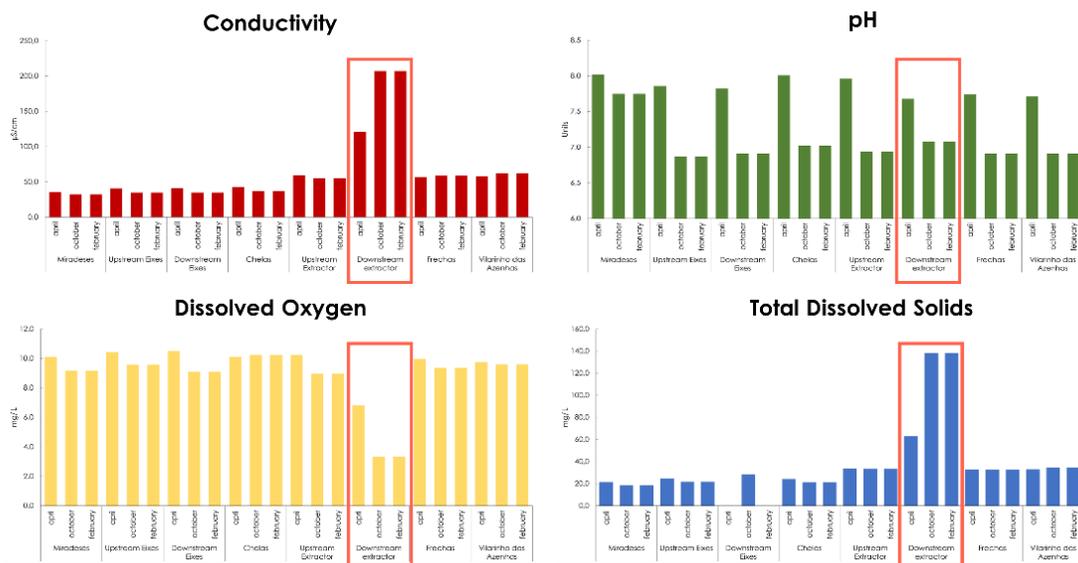


Figura 27. Resultados da qualidade da água do rio Tua, obtidos para os parâmetros físico-químicos da água nos locais de amostragem (8), sazonalmente, em termos de condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH, oxigénio dissolvido ($\text{mg O}_2/\text{L}$) e sólidos totais dissolvidos (mg/L). Fonte: Costa, S. (2023).

Análises de sedimentos: A descarga ocasional de águas-ruças por parte da indústria extratora levanta também a problemática quanto à potencial bioacumulação nos sedimentos do rio, bem como o desequilíbrio nos ciclos geoquímicos do habitat ripícola. Por este motivo, três amostragens de sedimentos foram efetuadas com o intuito de conhecer a pluma de contaminação (1. local de descarga da fábrica; 2. ponto de convergência: canal de descarga no rio Tua; 3. situação controlo- a montante da fábrica). Foram analisados por métodos convencionais a percentagem de carbono orgânico (COS), teor de cinzas e nutrientes (NPK) dos sedimentos; foi feito o fracionamento da matéria orgânica dos sedimentos (MOS) o foi medido o teor de polifenóis pelo método de Folin-Ciocalteu. Foram também determinados os perfis elementares (C, N, H, S, O) por análises químico elemental (AQE), e as macroelementos (MgO, CaO, K₂O) microelementos (Cu, Zn, B, Cr, Ni, Pb) por espectrometria de massas acoplada a plasma indutivo (ICP-MS).

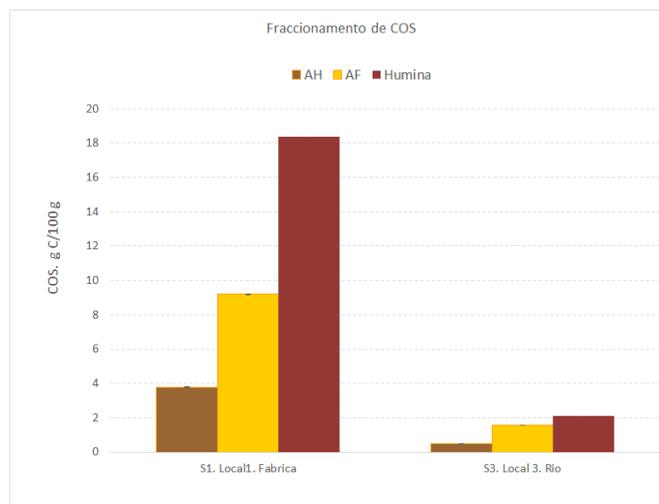


Figura 28. Resultados para as análises dos sedimentos quanto ao tipo de matéria orgânica (expressa em COS): AH- ácidos húmicos, AF- ácidos fúlvicos e humina, nos locais amostrados (S1-local de descarga da fábrica; S3 - situação controlo a montante da fábrica).

A descarga contínua, apesar do seu grande alcance sobre o compartimento aquático, é muito direcionada para os sedimentos estáticos que rodeiam o canal de descarga industrial. De facto, foram registados níveis mais elevados de MOS, estando

um 60% em forma de huminas e um 30% em forma de ácidos fúlvicos (Figura 28); foram determinados também polifenóis nos locais de amostragem mais próximos da indústria. Embora tenha sido observada uma tendência decrescente, ambos os resultados foram muito mais elevados a jusante (31 g C/100 g e 550 mg/l polifenóis), quando comparados com o local de amostragem de controlo a montante da extratora (4 g C/100 de COS e 10 mg/l polifenóis). Estes efeitos são, de facto, consequência do processo de extração do azeite, uma vez que o perfil de macronutrientes dos sedimentos, nomeadamente para os macroelementos de fósforo (P) e potássio (K) é notoriamente mais elevado nos locais de amostragem mais próximos da indústria, sugerindo que as descargas apresentam um elevado teor de macroelementos, condicionando o pH e condutividade elétrica das águas, fixadas pelos sedimentos fluviais.

Análises da biodiversidade: Adicionalmente, o potencial tóxico das águas-ruças, possivelmente devido à alta concentração de polifenóis, foi também avaliado para diferentes organismos bioindicadores (crustáceos e bivalves) seguindo os procedimentos normalizados definidos pela Diretiva-Quadro da Água. Além disso, foram caracterizados os sedimentos em 3 locais a montante e no canal de descarga industrial. Para compreender o papel tóxico dos resíduos da indústria, *Daphnia magna* e *Unio delphinus* foram escolhidos como organismos bioindicadores, tendo sido sujeitos a exposições agudas (24 horas) e crónicas (14 dias), respetivamente. Ao comparar os resultados obtidos, os locais situados a jusantes da indústria de extração de óleo de bagaço de azeitona mostraram uma diminuição significativa da qualidade da água (valores mais elevados de carência de oxigénio e, em particular, de fenóis) e dos habitats aquáticos (sedimentos anóxicos). Várias métricas ecológicas e análises multivariadas detetaram o impacto ecológico das descargas industriais. Além disso, os ensaios ecotoxicológicos efetuados revelaram uma elevada toxicidade para diferentes níveis tróficos, causando a morte de, pelo menos, 50% da população de *D. magna* testada, quando exposta a um volume de águas-ruças correspondentes a 8,88 ppm de CQO (carência química de oxigénio).

5.3. Valorização dos subprodutos

Neste sentido, surgiu o projeto Bagaço+Valor - Tecnologia limpa para a valorização dos subprodutos do bagaço na indústria extratora de azeite (código nº 72124), financiado pelo COMPETE2020, que consiste em produzir materiais carbonosos a partir do subproduto do BA e avaliar a sua eficiência no tratamento de águas residuais na mesma indústria. Para além do reaproveitamento de subprodutos e valorização de resíduos, esta alternativa permite ainda a diminuição do impacto ambiental da mesma, dado que o carvão ativado está isento de emissões de CO₂, constituindo uma solução sustentável e rentável economicamente (Figura 29).

Resultados preliminares na produção industrial de carvão ativado a partir de BA mostram uma elevada nano-porosidade ($3.102 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{g}$) e superfície específica ($520 \text{ m}^2/\text{g}$), permitindo a retenção de contaminantes orgânicos, e utilização posterior no tratamento das águas residuais (Hélder, G., relatório interno Bagaço+Valor). Ensaios laboratoriais demonstram ainda a sua elevada eficácia na retenção de polifenóis (adsorção de 91,7% em 8 horas), realçando o seu elevado potencial para a remediação de águas-ruças, já que os polifenóis são os seus constituintes maioritários. Atualmente, o projeto encontra-se na fase final da produção industrial de material carbonoso. Para além da conceção de um novo modelo industrial, circular e sustentável, que possibilita a maximização do tempo de vida do BA, será possível também a criação de um novo modelo de negócio, ecológico e de relevância nos mercados nacionais e internacionais.



Figura 29. Subprodutos utilizados no processo de produção de biochar (da esquerda para a direita): bagaço de azeitona fresco, extratado e seco, e carvão ativado. Fonte: Costa, S. (2023).

6. Compostagem do bagaço de azeitona - Quinta do Prado

6.1. *Ensaio de compostagem ACUSHLA 1*

No contexto da problemática associada ao subproduto do BA, foi desenvolvido o projeto BIOMA - Soluções integradas de bio economia para a mobilização da cadeia agroalimentar, Programa Mobilizador (cod. N° 46112), em conjunto com a empresa ACUSHLA Azeites Biológicos S.A., com o intuito de desenvolver um processo de compostagem do BA como uma alternativa à sua valorização económica e ambiental. O primeiro ensaio de compostagem de BA, denominado “ACUSHLA 1”, foi realizado em escala industrial na Quinta do Prado, no Concelho de Vila-Flor, propriedade da empresa ACUSHLA. O desenho experimental incluiu a compostagem de 100 m³ de resíduos agroindustriais (35 m³ de BA), avaliando diferentes matérias-primas e frequência dos revolvimentos (dinâmica ou estática), de forma a otimizar os três principais fatores limitantes à compostagem do BA: a elevada humidade (65-75%), relação C/N e a fitotoxicidade.

Instalação das Pilhas de Compostagem: O delineamento experimental foi desenhado a escala industrial, formando pilhas de secção trapezoidal de 27 m³ (11 m x 3 m x 1,2 m, afastadas 8 m umas das outras), isoladas do solo com um material semipermeável (TenCate Bidim® S72), e cobertas com tecido geotêxtil (Toptex®), para permitir intercâmbio de gases da pilha com a atmosfera e evitar a sua exposição aos episódios de precipitação. Os tratamentos correspondem à mistura com diferentes proporções de matérias-primas (de diferente C/N). Além do BA, foi utilizado a casca de amêndoa (CA) como agente estruturante, e o estrume de ovelha (EO) como fonte de azoto, seguindo as seguintes proporções:

Pilha A: 8 m³ de BA, 2 m³ de EO e 16m³ de CA e C/N 30

Pilha B: 12 m³ de BA, 3 m³ de EO e 12m³ de CA e C/N 30

Pilha C: 7 m³ de BA, 14 m³ de EO e 7 m³ de CA e C/N 20

Pilha D: 8 m³ de BA, 2 m³ de EO e 16 m³ de CA e C/N 30,

Das quatro pilhas, três foram sujeitas a revolvimentos frequentes (pilhas A, B e C), sendo a pilha D a única sem revolvimentos (pilha estática). No total, foram executados seis revolvimentos, aos 0, 15, 34, 58, 77, 98 e 120 dias, desde a fase inicial (fase termófila) até à fase de maturação do composto (Figura 30).



Figura 30. Pilhas de compostagem A, B, C e D do ensaio ACUSHLA 1.

Monitorização das pilhas: A temperatura (T^a , °C) dentro e fora das pilhas foi registada diariamente. A T^a do ar e evapotranspiração potencial (ET_0) foram obtidas a partir da estação meteorológica de Vila-Flor no site do Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA). A humidade das pilhas foi ajustada para um valor de 66% (base em peso seco), mediante rega durante os dias de revolvimento. De forma periódica, foram colhidas amostras ao longo do processo de compostagem, aos 0, 15, 34, 58, 77, 98, 120, 148 e 176 dias (160 amostras no total), para posterior análise laboratorial.

Determinações analíticas das amostras: Para avaliação da densidade aparente (D_a) e teor de humidade (H) foram colhidas amostras não perturbadas, e foi retirada uma subamostra para a determinação de peso seco a 105°C. O resto da amostra foi seca a 65°C, triturada, crivada, sendo a fração < 2mm moída usando moinho de martelos (malha de 0,75mm). Foram determinadas as variáveis físico-químicas de rotina, isto é, o pH com potenciómetro em extrato aquoso 1:2.5 (p/v) e a condutividade elétrica (CE) em extrato aquoso 1:5 (p/v) com um condutivímetro Combi 5000. O carbono orgânico total (COT) e o azoto total (N total), assim como as

relações atômicas C/N, H/C e O/C, foram obtidas por análise química elementar (AQE) com um LECO CHNS-932. Foi determinado o teor de cinzas por incineração.

Ensaio de Fitotoxicidade: Foi desenvolvido um ensaio da germinação com sementes de agrião (*Lepidium sativum* L.) para testar a presença de componentes fitotóxicos, conforme ao método EN 16086-2:2011 e EN 12579:2013. Além da contagem de sementes germinadas, foram tiradas imagens do comprimento radicular e interpretadas usando o software de acesso livre ImageJ ©. Foi calculado o índice de vitalidade Munooo-Liisa (MLV, %) que além do índice de germinação (GI), inclui o comprimento radicular (Zucconi et al., 1981).

Determinações bioquímica de compostos orgânicos: Foi aplicada espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) usando um espectrofotômetro FTIR Agilent CARY 600. Os espectros FTIR obtidos foram submetidos a pré-tratamento (correção de linha de base e eliminação da banda de 2400 cm^{-1} do CO_2) e desenvolvimento da segunda derivada (com resolução aumentada e suavizado), com recurso ao software SPECTR.

Resultados da atividade biológica e fitotoxicidade:

Os resultados mostram que a fase termófila foi atingida em todos os tratamentos nos primeiros 10 dias de compostagem, sendo que a T^a incrementou em 8 dias de 15°C a 45° e 65°C (Figura 31), atingindo a fase de maturação às 8 semanas. As pilhas A, B, C demoraram mais tempo a atingir a fase termófila, o que pode dever-se à maior densidade ou menor atividade microbiana na fase inicial da compostagem.

Os resultados da análise elementar CHNO permitiram monitorizar o processo durante os 176 dias de compostagem, observando-se uma importante perda de peso no primeiro mês (20%), seguida de rápida mineralização de C e N orgânicos. Este processo foi mais rápido na pilha C (com menos BA), onde a perda de N é favorecida pelos altos valores de pH (>8). No entanto, nas pilhas A, B e D, que contêm mais BA, o processo de mineralização de N foi menos expressivo, registando-se perdas de N abaixo de 7% nos primeiros meses de compostagem (Figura 32). A alta correlação do

N com o pH (inversa à perda de peso) indicam que o processo de amonificação é favorecido pelos altos valores de pH, o que indica que a compostagem favorece que as formas de N orgânico passem a formas assimiláveis, mas conota que a regulação do pH pode ser um fator chave para evitar perdas desnecessárias de N-NH₃.

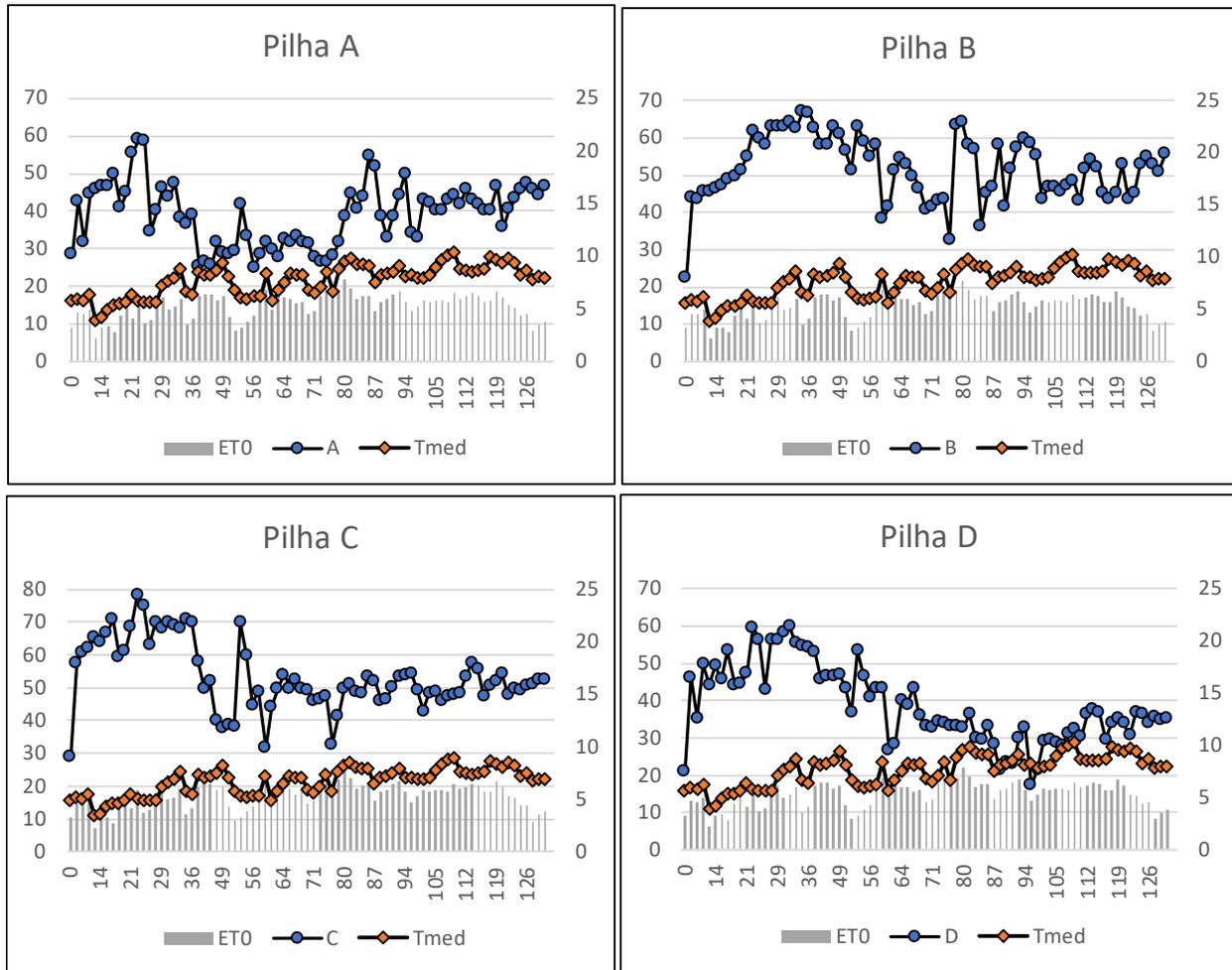


Figura 31. Controle de Tª (°C) nas pilhas de compostagem (A, B, C, D) no ensaio ACUSHLA 1.

Fonte: Figueiredo, D.

Em relação à fitotoxicidade e de um modo geral, o índice MLV foi diminuindo ao longo do processo de compostagem (Figura 33). As pilhas A, B, D compostaram com facilidade, uma vez reduzida a C/N (a valores ~40) e aumentada a porosidade. Aos 120 dias, as pilhas A, B e D tinham uma cor escura, “bom cheiro”, C/N<20 e baixa fitotoxicidade (MLV~50-65%, GI~0,8; RI~0,9). Pelo contrário, na mesma data, a pilha

C mostrou “mau cheiro”, elevado pH, elevada perda de peso e uma $C/N < 15$, além de elevada fitotoxicidade ($MLV \sim 20\%$; $GI \sim 0,6$, $RI \sim 0,3$), o que sugere que, para além de elevada perda de azoto, neste tratamento ocorreu formação expressiva de compostos fitotóxicos, associada a uma elevada CE.

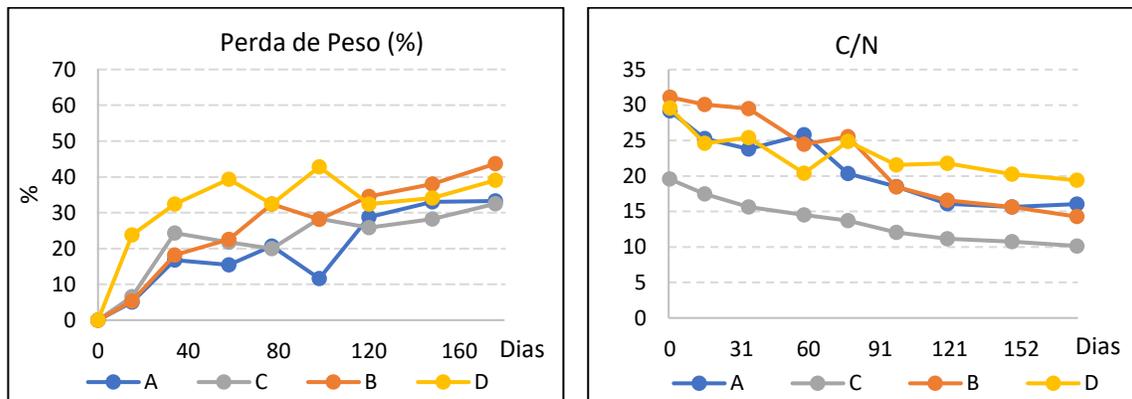


Figura 32. Evolução da perda de peso (esquerda) e razão C/N (direita) durante a compostagem das 4 pilhas (A, B, C, D). Fonte: Projeto Bioma.

Ainda em relação à fitotoxicidade, demonstrou-se que a MLV estava inversamente correlacionada com H/C, isto é, quanto maior o teor de compostos alifáticos (alta H/C) maior a fitotoxicidade ($MLV \sim 0$). Este efeito é mais expressivo na pilha C, com menos conteúdo de BA, que manifestou fitotoxicidade mesmo em estágios avançados de compostagem (Figura 34).

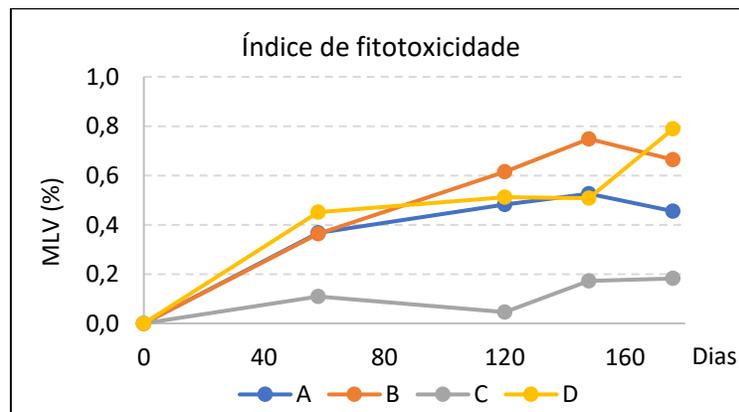


Figura 33. Valores médios de fitotoxicidade durante a compostagem nas quatro pilhas (A, B, C, D). $MLV \sim 0$, fitotóxico; $MLV \sim 1$, não fitotóxico. Fonte: Hernández et al. (2021).

Verificou-se que a perda de fitotoxicidade nas pilhas com maior teor de BA (pilhas A, B, D) estava correlacionado com o maior teor de polifenóis livres (quando reduz de 500 a 200 mg/L), sendo possível que se transformem em compostos orgânicos maiores (não fitotóxicos) no processo de compostagem.

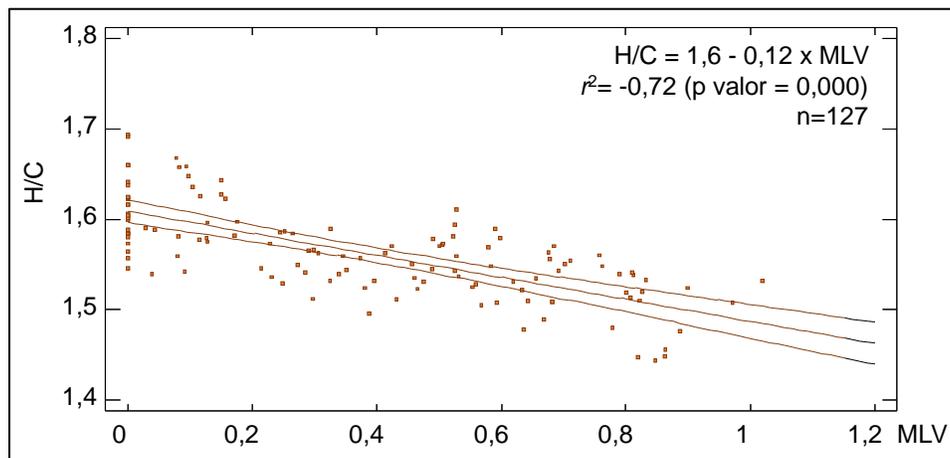


Figura 34. Regressão simples entre o índice de fitotoxicidade (MLV) e o ratio atômico H/C (p-valor= 0,000, $r^2 = -0,72$). Fonte: Hernández et al. (2022).

Resultados da espectroscopia FTIR:

Os espectros FTIR mostraram uma perda pronunciada de grupos alifáticos (sinal a 2920 cm^{-1}), resultante da rápida degradação de ácidos gordos (3-12 % ácido oleico) nos primeiros 30 dias, assim como um aumento substancial de compostos azotados (sinal a 1640 cm^{-1}) e carboidratos, possivelmente de origem microbiana (1100 cm^{-1}) na fase inicial da compostagem (primeiros 60 dias) (Figura 35).

A alteração das lenhinas (sinal a 1230 e 1330 cm^{-1}) e a condensação de cadeias de C (polimerização de polifenóis) parece ocorrer numa fase intermédia de compostagem, entre 77-120 dias, coincidindo com a redução de polifenóis livres, medidos previamente, de 550 a 174 mg/l aos 120 dias. O anterior explicaria a redução considerável da fitotoxicidade dos compostos aos 120 dias e aceleraria o tempo da compostagem, reduzindo de 9 para 4 meses.

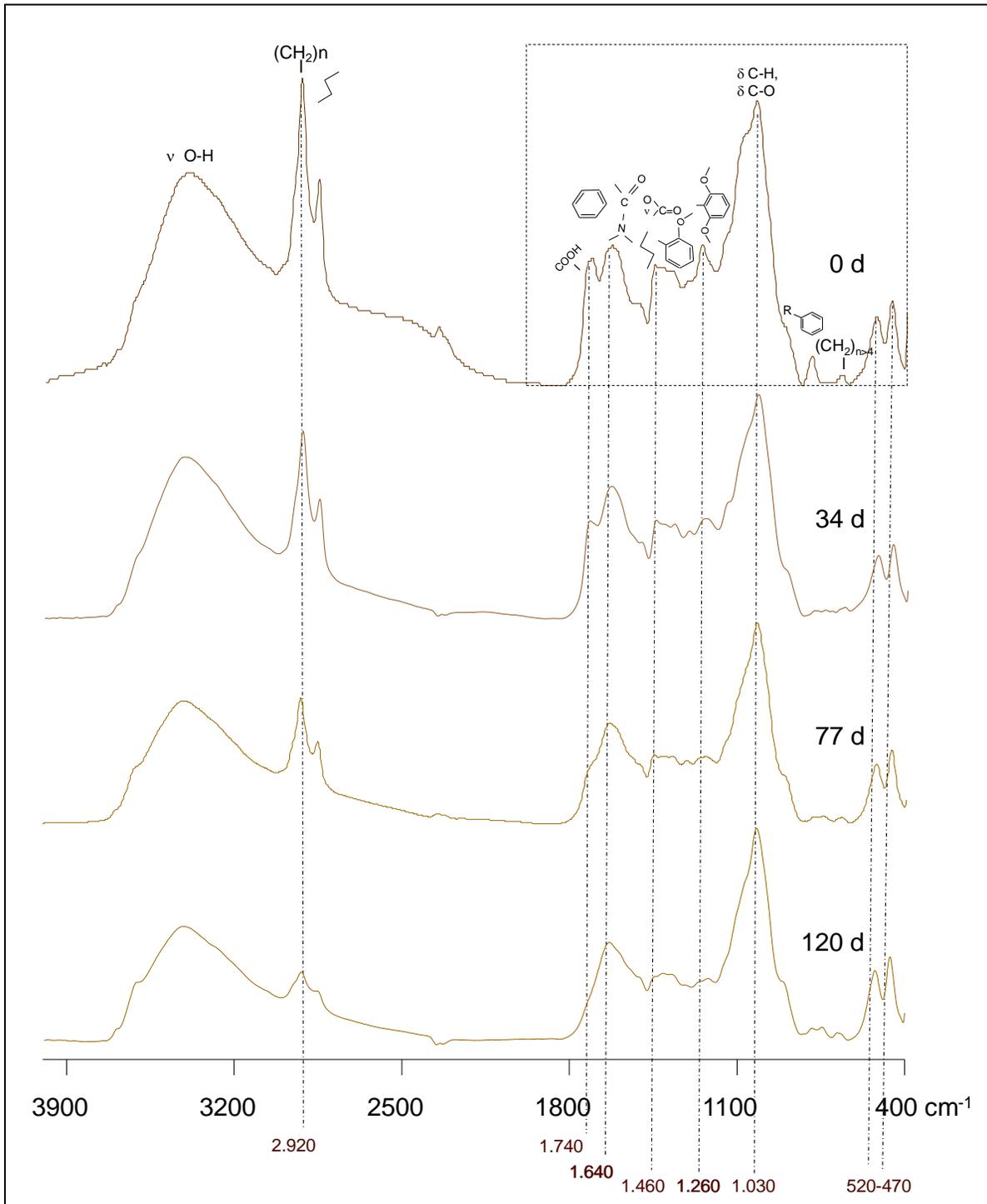


Figura 35. Espectros FTIR dos compostos em diferentes fases de compostagem, indicando as bandas FTIR de interesse (2920, 1720, 1640, 1510, 1460, 1330, 1230, 1030 cm^{-1}). Fonte: Hernández, Z & Almendros, G. (2023, com. pessoal).

Compostos e condicionadores de solo produzidos:

Na Tabela 2, apresentam-se os resultados analíticos dos compostos finais obtidos no ensaio de ACUSHLA 1, onde pode observar-se que a compostagem aeróbica aumentou o pH e o teor de nutrientes. Por outro lado, a compostagem reduziu significativamente a condutividade elétrica, a densidade aparente e o teor de matéria orgânica, até valores de C/N < 20. Como destaque, chama-se a atenção para o teor de azoto orgânico, com valores >2% (20g/kg), fósforo (19-49 g/kg) e potássio (94- 187 g/kg), além de microelementos como o Boro.

Marca corporativa de composto (qualidade classe A) de bagaço de azeitona:

Com a finalidade de obter uma imagem visual para o composto com BA, dentro do projeto Bioma, criou-se a marca CompOlea (Figura 36), fertilizante orgânico de alta qualidade (classe A) à base de bagaço de azeitona.

CompOlea
COMPOSTO ORGÂNICO
Elaborado a partir de Bagaço de Azeitona

Matéria Orgânica	61,3	%	+
Humidade	37,7	%	+
pH	7,9		+
Condutividade Eléctrica	1,9	µS/cm	+
Densidade	885	kg/m ³	+
C/N	15,6		+
Carbono (C) total	33,0	%	+
Acido (N) total	2,1	%	+
Fósforo (P2O5) total (1)	0,26	%	+
Potássio (K2O) total	1,0	%	+
Cálcio (CaO) total	1,0	%	+
Magnésio (MgO) total	0,3	%	+
Boro (B) total	27,2	mg/kg	+
Chumbo (Pb) total	23,7	mg/kg	+
Cobalto (Co) total	15,7	mg/kg	+
Cromo (Cr) total	14,7	mg/kg	+
Níquel (Ni) total	33,8	mg/kg	+
Zinco (Zn) total (2)	25,3	mg/kg	+
Óxido de Manganês	+		+
Fitotoxicidade	ausente		+
Graminoides	99	%	+
Mut. Inertes Antropogénicas	0,02	%	+
Salmoreia spp.	ausente	em 25g	+
E. coli spp.	ausente	colónias/g	+
Sementes e propagulos	+		+

Benefícios

- Contribui para a saúde do solo e para a sustentabilidade ambiental
- Controla patógenos de substâncias húmicas
- Aumenta a estabilidade de agregados e capacidade de retenção de água do solo
- Controla os micr. e microelementos principais para assegurar o correto desenvolvimento das culturas
- Atua como um estimulante fornecendo de forma equilibrada, lenta e prolongada os nutrientes que as plantas precisam
- Aumenta a fitotoxicidade, infestantes e microrganismos patogénicos

Resultados reportados à matéria seca e referentes às análises efetuadas ao composto em 2012 no Laboratório Colaborativo MORE Català, do Instituto de Ciencia Agraria (ICIA), Madrid ou do Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária (INIAV).

Resultados em água:

- Contribui para a Economia circular AM SD's de Bagaço de Azeitona
- Reduz pegada de Carbono Produto KM 0
- Adequado para agricultura "biológica"
- Segurança ambiental e alimentar

PROIBIDA A VENDA AO PÚBLICO

Contactos
MORE – Laboratório Colaborativo Montañas de Investigación – Asociación
Edificio de Biología Escorial, Av^a Diácono de León 106, 0300-038 Biogancia
https://morecatala.cat Telefone +351 300 081 998

Um produto de PFC's A+ To Colaborado por:

Figura 36. Ficha técnica do CompOlea, com todos os parâmetros que o caracterizam como fertilizante orgânico classe A, segundo o Decreto-lei 103-2015. Fonte: Projeto Bioma.

II Congresso Nacional das Ciências do Solo
Bragança, 28 a 30 de junho de 2023

Tabela 2. Valores médios das principais variáveis analíticas, para os compostos das pilhas A, B, C e D (sem revolvimento), após 178 dias (6 meses) em ACUSHLA 1.

Análises	Bagaço de Azeitona	Pilha A	Pilha B	Pilha C	Pilha D	Unidade	Decreto Lei 103-2015
Matéria Orgânica (f)	94.0	57.8	61.3	36.2	64.6	%	1 > 30
Humidade (d)	63.9	37.7	43.7	42.5	32.4	%	1 < 40
pH (a)	5.25	7.9	8.0	9.5	7.7		3 5.5 a 9.0
Condutividade Elétrica (b)	5.38	2.61	1.94	5.24	2.11	mS/cm	1
Densidade (c)	1080	809	885	944	800	kg/m ³	1
C/N	50	17	16	11	21		1
Carbono (C) total (e)	54.1	30.4	32.0	18.8	34.3	%	2
Azoto (N) total N (e)	0.8	1.8	2.1	1.7	1.7	%	2
Fósforo (P₂O₅) total (h)	0.1	0.22	0.26	0.49	0.19	%	3
Potássio (K₂O) total (h)	1.12	1.13	0.94	1.87	1.01	%	3
Cálcio (CaO) total (h)	0.20	0.75	1.03	1.31	0.53	%	2
Magnésio (MgO) total (h)	0.06	0.18	0.21	0.55	0.15	%	3
Boro (B) total (h)		30.2	27.0	35.0	23.6	mg/Kg	2
Chumbo (Pb) total (h)		22.9	23.7	35.5	17.9	mg/Kg	2
Cobre (Cu) total (h)		26.2	15.7	217	14.1	mg/Kg	3 (< 100 classel)
Crómio (Cr) total (h)		13.9	14.7	11.5	33.0	mg/Kg	2
Niquel (Ni) total (h)		25.7	23.8	27.7	31.2	mg/Kg	2 (< 50 classel)
Zinco (Zn) total (h)		24.1	25.9	40.7	19.8	mg/Kg	2 (< 200 classel)
Fitotoxicidade (g)	0	83	90	59	90	%	1 99%>25m
Granulometria, fração >20 mm		29.7	9.2	22.6	8.7	%	3 m
Granulometria, fração entre 10 e 20 mm		22.1	33.9	28.9	42.4	%	3
Granulometria, fração entre 5 e 10 mm		18	18	16.4	17	%	3
Granulometria, fração < 5 mm		30.2	38.8	32.1	31.9	%	3
Pedras > 5mm		4.47	4.37	12.8	5.27	%	3
Materiais Inertes Antropogénicos >2mm		0.07	0.002	0	0.02	%	3
Salmonella spp (j)		ausente	ausente	ausente	ausente	em 25 g	3
Echerichia coli (k)		< 1000	< 1000	< 1000	< 1000	cel. em 1 g	3

Resultados (reportados à matéria seca, com exceção da humidade e densidade) referentes às análises efetuadas ao composto em 2022 no: (1) IPB e MORE Colab, (2) Instituto de Ciências Agrárias (CSIC) ou (3) Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária (INIAV). Métodos: a) pH em água 1:2.5 p/v; b) CE - Condutividade Elétrica em água 1:5 p/v; c) Densidade aparente húmida, método do cilindro; d) H - Humidade, base em peso húmido; e) Carbono e Azoto total por análises química elemental, f) MO - Matéria orgânica, pelo método gravimétrico, incineração ou LOI; g) Teste de Fitotoxicidade com agrião, segundo Zucconi et al, 1981, expresso em índice de germinação (IG); valores acima de 80, considerado não fitotóxico, de 60 a 80, considerado pouco fitotóxico; h) EN 13650:2001 - Extração de macro e microelementos e determinação por ICP-OES; (i) EN 16087- 2:2011 – Determinação de Atividade biológica aeróbia; j) ISO 6579-1:2017 Pesquisa de *Salmonella spp*; k) ISO 16649 2:2001 - Método horizontal para a enumeração de *Escherichia coli* beta-glucuronidase-positiva.

6.2. Ensaio de compostagem ACUSHLA 2

Ainda no contexto da problemática da valorização do BA, as equipas envolvidas no Projeto SOILING - Soluções inovadoras de base natural para restauro de serviços dos ecossistemas em áreas degradadas pelo grande incêndio de Picões, Portugal, financiado pela EEA Grants (Cod. Nº 11_CALL#5), desenvolveram um segundo ensaio de compostagem utilizando o BA, denominado “ACUSHLA 2”, mas desta vez utilizando biomassa florestal (BF) como agente estruturante (AE), de forma a reduzir os custos na aquisição do resíduo e tornar o processo de compostagem mais rentável.

O delineamento experimental do ensaio envolveu 7 pilhas com tamanho industrial (25 m³), tendo como padrão teórico 1,2 m de altura × 3 m de largura × 10 m de comprimento. Tal como para o ensaio ACUSHLA 1, as pilhas foram instaladas na empresa ACUSHLA Azeites Biológicos S.A e cobertas com manta geotêxtil. As proporções dos materiais (%), assim como a relação C/N e revolvimento das pilhas são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Delineamento das pilhas. Proporção (em %) das matérias primas: bagaço de azeitona (BA), biomassa florestal (BF) e casca de amêndoa (CA).

Código da Pilha	BA (%)	BF (%)	CA (%)	C/N	Revolvimento
BA+	100	0	0	19,1	Sim
BABF+	50	50	0	26,1	Sim
BACA+	50	0	50	32,8	Sim
BABFCA+	50	25	25	33,4	Sim
BACA-	50	0	25	32,8	Não
BABF-	50	50	0	26,1	Não
BA-	100	0	0	19,1	Não

O processo de compostagem teve duração de 105 dias, totalizando quatro revolvimentos e, nos dias 1, 7, 14, 21, 33, 49, 70 e 105 foram realizadas amostragens das pilhas. A temperatura foi registada diariamente por meio de dois termômetros

inseridos nas pilhas, enquanto a temperatura ambiente foi obtida a partir da estação meteorológica de Mirandela (IPMA). Nos dias em que as amostragens foram realizadas também se realizou a medição da densidade e, a partir do dia 33, também se passou a realizar a medição do volume das pilhas. A Figura 37A mostra o local de instalação das pilhas e a Figura 37B o processo de revolvimento das pilhas com recurso a maquinaria.



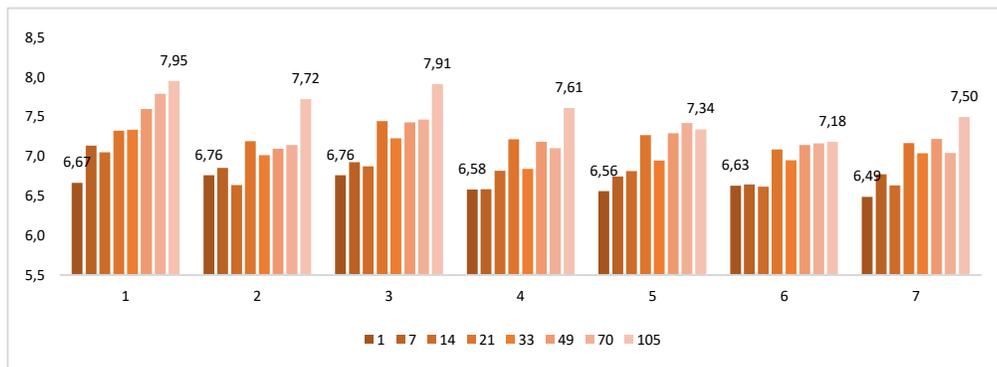
Figura 37. A: Pilhas instaladas. B: Revolvimento das pilhas.

Foram determinadas as mesmas variáveis físico-químicas analíticas descritas em ACUSHLA 1, isto é: densidade aparente, teor de humidade, pH em água 1:2.5 (p/v), CE 1:5 (p/v), COT, N total, assim como as relações atómicas C/N, H/C e O/C e teor de cinzas. Paralelamente, foi desenvolvido e ensaio de fitotoxicidade (IG-índice de germinação, e o índice de vitalidade Munooo-Liisa-MLV).

Resultados da monitorização da compostagem (105 dias): Como principais resultados da monitorização da compostagem, apresentam-se os dados analíticos de algumas variáveis analíticas ao longo da compostagem (Segatelli et al., 2023). Foram selecionadas as variáveis: pH, CE, perda de peso (cinzas), COT, Nt, C/N e MLV por ser as variáveis que melhor explicaram a evolução do processo da compostagem (Figura 38). Dos três elementos limitantes da compostagem de BA: alta humidade e/ou densidade, alta C/N e alta fitotoxicidade, foi observada uma redução da

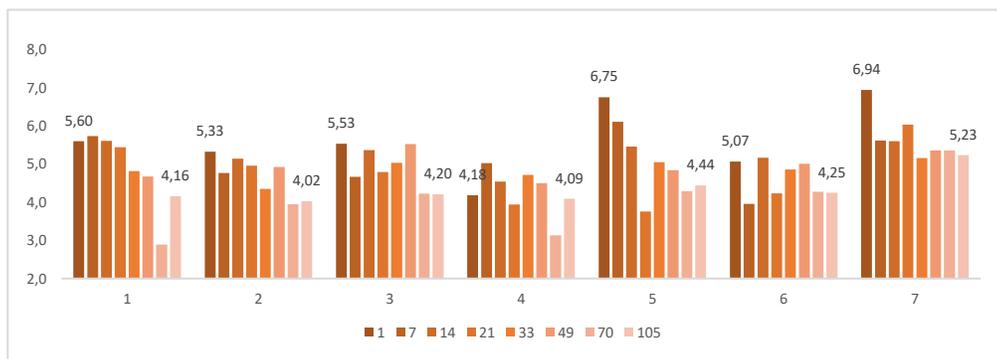
humidade (40%), relação C/N (de valores iniciais de 19-26-33) e fitotoxicidade (aumento de MLV de 0-1) durante os primeiros 105 dias, assim como um aumento de pH (7,2-7,9), Nt (até 1,9%) e perda de peso (aumento de cinzas a 30-50%) em todas as pilhas durante a compostagem, o que indica a rápida decomposição de compostos orgânicos, redução de compostos fitotóxicos (polifenóis, gorduras e outros compostos de baixo peso molecular), seguida dum lenta amonificação do material de partida.

pH

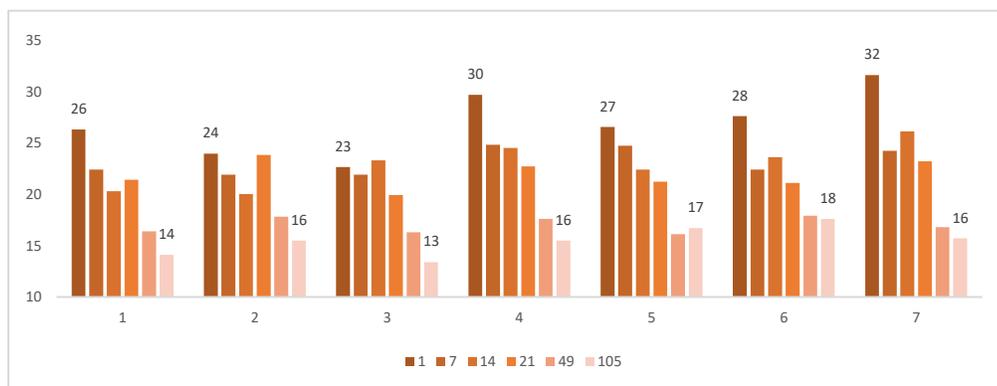


CE

(mS/cm)

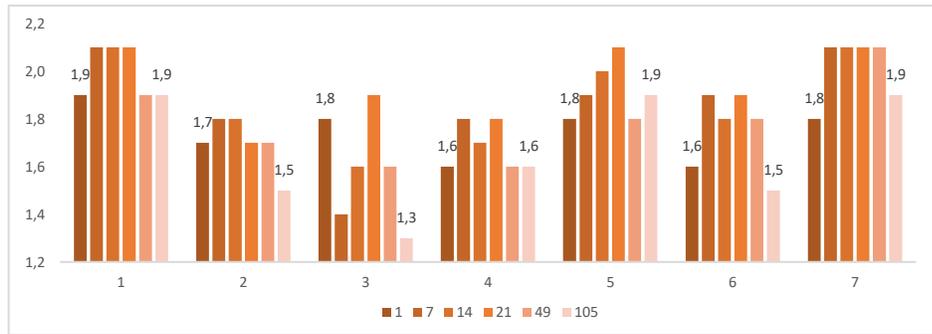


C/N

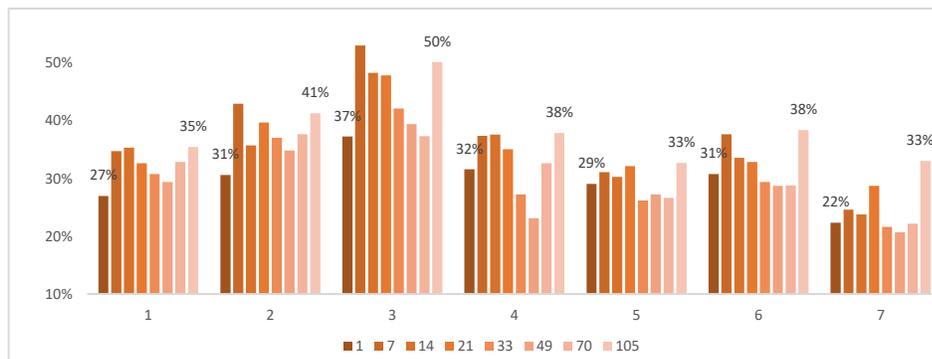


II Congresso Nacional das Ciências do Solo
Bragança, 28 a 30 de junho de 2023

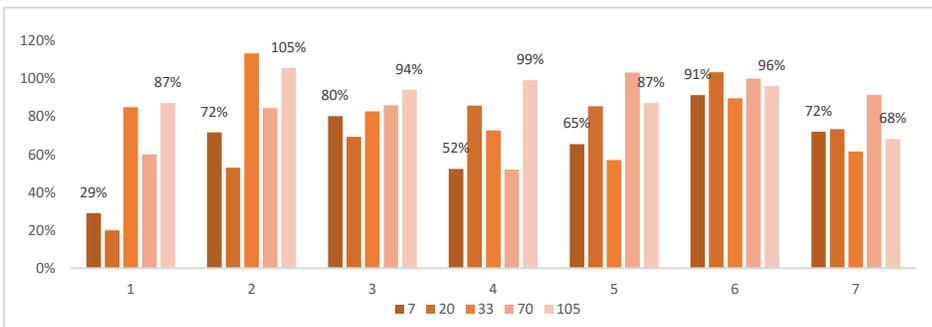
Nt (%)



Cinzas (%)



MLV (%)



COT (%)

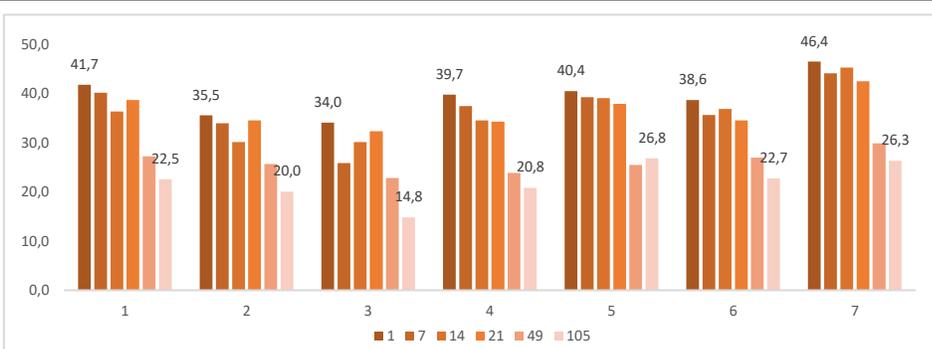


Figura 38. Evolução de variáveis analíticas (pH, CE, cinzas, COT, Nt, C/N e MLV) durante a monitorização da compostagem (105 dias) em 7 pilhas. Fonte: Segatelli et al. (2023).

6.3. *Ensaio de eficácia dos compostos como fertilizante orgânico e condicionador de solo*

Os compostos produzidos a partir do ensaio ACUSHLA 1, foram avaliados quanto à sua eficácia na nutrição vegetal (produtividade) e estabilidade de agregados (retenção e água) por meio de ensaios em vasos e micro-escala, e ensaios de campo. A aplicação no campo fecha o ciclo da economia circular, devolvendo os nutrientes ao solo de onde foram extraídos pelo cultivo do olival.

6.4. *Ensaio em vasos: efeito na nutrição vegetal*

Foi selecionado um solo típico das áreas sob cultivo de olival da região de Trás-os-Montes, caracterizado como Leptossolo éutrico órtico de xistos (leox), um solo delgado com baixo teor de matéria orgânica (<2%). O solo foi coletado na profundidade 0-10 cm e passado por um crivo de malha 4,75 mm. Os compostos A, B, e C produzidos no ensaio ACUSHLA 1 foram passados pelo mesmo crivo. Selecionou-se um corretivo orgânico comercial, denominado como E, a fim de testar a eficácia dos compostos à base de bagaço de azeitona, em relação a um composto com efeitos e características já conhecidos. Os compostos foram incorporados nos 5 cm superficiais de cada vaso. Foram testadas quatro doses distintas: d0 = 0 Mg ha⁻¹, d1= 10 Mg ha⁻¹, d2= 20 Mg ha⁻¹ e d4= 40 Mg ha⁻¹. Nos vasos foi realizada a sementeira de azevém anual (*Lolium multiflorum*) com a densidade de 40 Mg ha⁻¹. O ensaio foi realizado durante 6 meses nas estufas do IPB (Figura 39). Os vasos eram regados de modo a manter a humidade entre 70 e 100% da CC.

A biomassa vegetal fresca e seca foi avaliada ao longo de quatro cortes, e foram detetadas diferenças estatisticamente significativas entre os compostos e doses testadas, bem como na interação entre estes fatores, podendo ser explicadas pelas diferentes curvas de crescimento em resposta à taxa de disponibilização de nutrientes. O composto C com >2% azoto destacou-se com tendência a superar o composto comercial nas maiores doses, em termos de biomassa fresca e seca. Este estudo mostra o potencial de utilização dos compostos à base de BA para o

incremento do crescimento vegetal em solos pobres, típicos dos olivais do NE de Portugal.



Figura 39. Ensaio de eficácia de nutrição vegetal em vasos.

6.5. Ensaio a microescala: efeito na estabilidade de agregados

Para avaliar a influência dos compostos como condicionadores de solo realizou-se um ensaio à microescala com um delineamento experimental fatorial completo, onde foram testados três condicionadores, três doses, dois tipos de solo e duas granulometrias. Foram selecionados dois solos com texturas distintas: Leptossolo (franco-limosa) e Fluvissoilo (franco-argilosa) e a fração de agregados (100 g, partículas entre 1 e 2 mm) foi incorporada com as respectivas doses de condicionadores testadas: $d_0 = 0 \text{ Mg ha}^{-1}$, $d_1 = 10 \text{ Mg ha}^{-1}$, $d_2 = 20 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $d_4 = 40 \text{ Mg ha}^{-1}$, sendo a d_0 correspondente ao controlo. Os condicionadores testados foram os compostos das pilhas A, B e C obtidos pela compostagem. Os condicionadores foram incorporados na forma fina - moída a 0,75mm e grosseira - crivada a 2 mm. A mistura de agregados + condicionadores foi submetida a 30 ciclos diários de secagem e humedecimento, sendo este último realizado até 40% da CC (Figura 40).

Amostras foram coletadas nos dias que correspondiam aos ciclos 3, 6, 10, 20 e 30. As amostras foram conservadas em frio até a análise de estabilidade de agregados. O equipamento de *wet sieving* foi utilizado para determinar os indicadores de estabilidade de agregados e partículas primárias, produzindo movimentos cíclicos verticais submergindo os crivos de 0.25 mm com 4g de amostra cada em água

destilada (3 min), depois em solução dispersante de hexametáfosfato de sódio 2% durante 9 min. As frações que passavam o crivo em água e solução dispersante, assim como a que ficou retida, foram levadas à estufa para determinação do peso seco a 105° C. Cada amostra foi avaliada por meio de 4 repetições.



Figura 40. Ensaio a microescala de efeito dos compostos sob os agregados do solo.

O resultado mais promissor verificou-se para um Leptossolo (solo 1), onde a incorporação dos condicionadores compostos na forma fina avaliando todas as doses em conjunto representou um incremento médio de 15% na estabilidade de agregados, face ao solo original (Figura 41). A determinação da estabilidade dos agregados para a granulometria grosseira está em fase de finalização e em breve os dados serão incluídos no conjunto da análise.

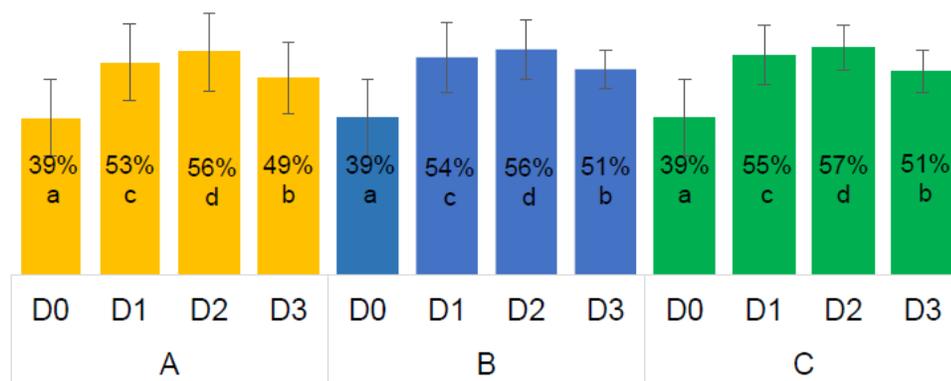


Figura 41. Ensaio de estabilidade de agregados (%) no Leptossolo (solo 1): compostos A, B, C, doses (D0 = 0 Mg ha⁻¹, D1= 10 Mg ha⁻¹, D2= 20 Mg ha⁻¹ e D3=40 Mg ha⁻¹). Fonte: Silvestre (2022) e Royer et al. (2022)

6.6. Ensaios de avaliação da perda de solo

Os compostos produzidos no âmbito do ensaio ACUSHLA 1 foram ainda avaliados quanto à sua eficiência como condicionadores de solo na redução da erosão hídrica. Para tal, foram realizados ensaio de simulação de chuva em tabuleiros de 310,5 cm², considerando uma intensidade média de precipitação de 61,6 mm/h. Os tratamentos avaliados foram os compostos a base de BA (nomeadamente o Composto A – CA; Composto B – CB; Composto C- CC), e um tratamento sintético (Poliacrilamida – PAM), além do solo controle, sem nenhum tratamento (Figura 42). A dose utilizada foi de 1,2 kg/m² para os orgânicos e 5,0 kg/m² para o sintético. Cada tratamento foi feito em triplicata. Os ensaios de simulação foram repetidos seis meses depois, de modo a avaliar a eficiência dos tratamentos (Figura 43).

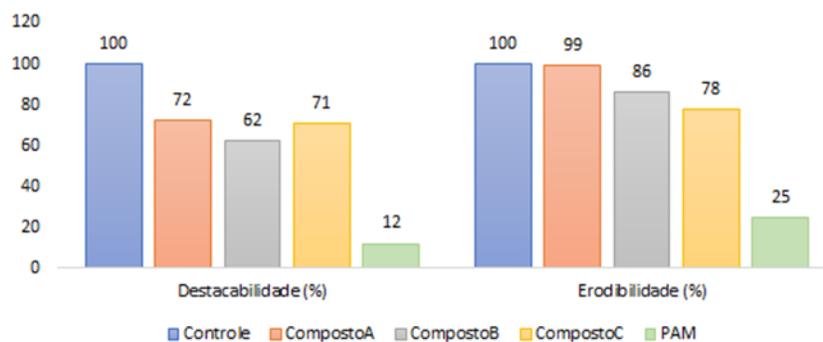


Figura 42. Valor médio da eficiência na redução da destacabilidade e erodibilidade, em comparação com o controle, para os tratamentos submetidos a simulação de chuva. Fonte: a partir de Munetiko (2022).

Após o cálculo dos indicadores descrito em Munetiko (2022), os resultados de maior destaque foram para os indicadores de erodibilidade e destacabilidade depois de seis meses. A análise de suscetibilidade à erosão mostrou que não há diferenças significativas em relação à erodibilidade, mas sim em relação à destacabilidade. O tratamento CB apresentou a maior eficácia. Os resultados da PAM mostraram desempenho eficaz na erodibilidade (Figura 42), mas os condicionadores orgânicos tiveram melhores resultados na destacabilidade (Figura 43), exceto o tratamento CA,

confirmando a eficácia da matéria orgânica na diminuição dos efeitos erosivos (Morgan, 2005).

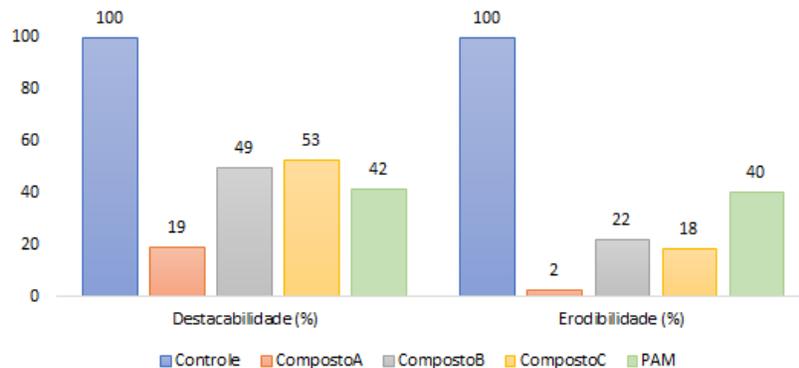


Figura 43. Valor médio da eficiência na redução da destacabilidade e erodibilidade, em comparação com o controle, para os tratamentos submetidos à simulação de chuvas depois de seis meses. Fonte: a partir de Munetiko (2022).

6.7. Ensaio de campo para testar o efeito na fixação de C no solo

Paralelo ao ensaio de eficácia em vasos, realizou-se a aplicação dos quatro compostos obtidos em ACUSHLA 1 numa área homogênea de olival na Quinta do Prado (Figura 44).

Trata-se dum olival de regadio, com 10 anos em modo de produção Biológico, espaçamento 3,5x7 m e sem mobilização. O desenho experimental seguiu um delineamento experimental em blocos (8 árvores por bloco) não causalizados. Tendo sido instalados 12 tratamentos distintos (mais o bloco de controle ou testemunha), sendo testadas quatro doses distintas: d0 = 0 Mg ha⁻¹, d1= 10 Mg ha⁻¹, d2= 20 Mg ha⁻¹ e d4= 40 Mg ha⁻¹, considerando oito oliveiras em cada parcela de amostragem, com três repetições por tratamento (24 árvores por tratamento) (Figura 45).

De modo a avaliar o papel da aplicação do composto na fixação de C no solo (serviço do ecossistema de controlo de alterações climáticas), foi determinado o

carbono orgânico do solo (COS) pelo método de rotina de oxidação em húmido, em 39 amostras (3 amostras x 4 tratamento x 3 doses + controle), com 3 réplicas.



Figura 44 Aplicação dos compostos condicionadores do solo produzidos na área de olival a ser monitorizada na Quinta do Prado.

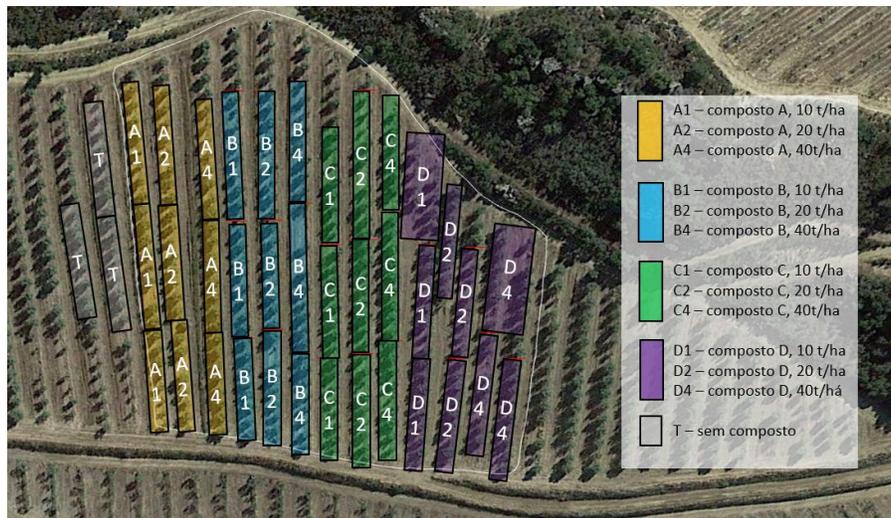


Figura 45. Delineamento do ensaio de eficácia de fertilização no campo.

Resultados preliminares de Toloto et al. (2023) indicam maior teor de COS nos solos do olival em estudo ($2,05 \pm 0,43$ g/100g), em comparação com outros Leptosolos da região trasmontana ($1,11 \pm 0,33$ g/100g), o que se atribui à atual gestão ecológica do olival na Quinta do Prado. Foi observado um acréscimo de COS

em todas as parcelas onde foram aplicados os compostos (valor médio de $2,97 \pm 0,3$ g/100g), sendo maior na parcela onde foi aplicado o composto D (Figura 46 A). Não foram observadas diferenças significativas entre as doses maiores, o que indica que uma dose de 10 Mg ha^{-1} é suficiente para aumentar o COS (Figura 46 B).

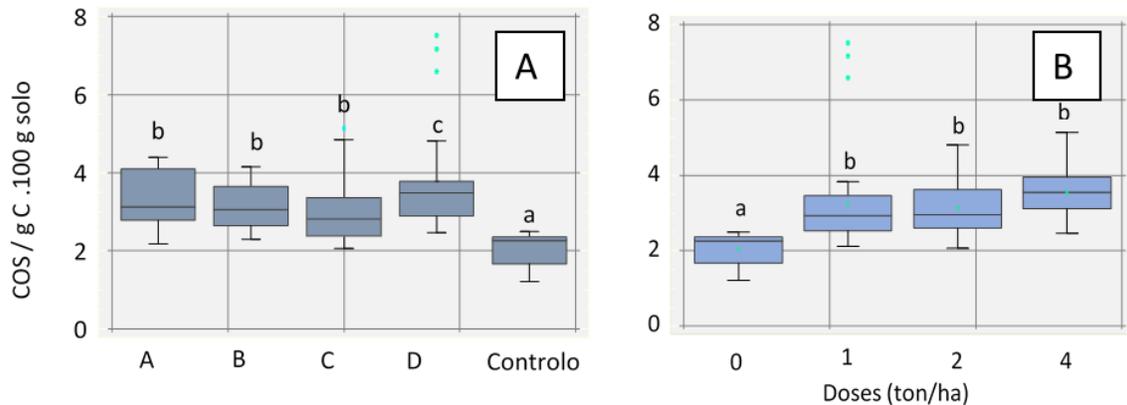


Figura 46. Carbono Orgânico do Solo explicado por (a) tratamento e (b) por dosagem de A: Composto A; B: Composto B; C: Composto C, D: Composto D, Controlo. Fonte: Toloto et al. (2023).

Principais conclusões do processo de compostagem de BA:

- A elevada fitotoxicidade do BA é significativamente reduzida quando misturado com diferentes agentes estruturantes (AE, como casca de amêndoa ou biomassa florestal), numa proporção mínima de BA:AE de 2:1;
- A origem da fitotoxicidade deve-se a compostos alifáticos (com alta H/C) que se transformam no processo de compostagem;
- O tempo de compostagem pode ser reduzido de 120 a 60 dias;
- O controle de pH é necessário para evitar as perdas de N-NH_3 ;
- O uso de tecnologia de ar passivo, com recurso a pilhas estáticas (sem revolvimentos), pode ser uma alternativa mais eco eficiente;
- A compostagem favorece a formação de constituintes orgânicos, com natureza semelhante à dos ácidos húmicos. Portanto, pode-se dizer que a compostagem de BA é necessária como tratamento prévio para a sua aplicação no solo.

Parte III

Proteção e restauro das vertentes dos Lagos do Sabor

Viagens de estudo 1 e 2

Tomás de Figueiredo, Zulimar Hernández, Vinicius Okada, Sara Rodrigues



7. Aplicação de Soluções de base Natural (SbN) para recuperação de solos degradados pelo fogo

7.1. Antecedentes: Incêndio de Picões

Em 2013 o grande incêndio de Picões devastou quase 14912 hectares nos concelhos de Alfândega da Fé, Mogadouro, Torre de Moncorvo e Freixo de Espada à Cinta, com consequências devastadoras para os ecossistemas existentes (Figura 47). No local encontra-se atualmente a Albufeira do Aproveitamento Hidroelétrico do Baixo-Sabor (AHBS), um reservatório para produção de energia cuja capacidade de carga e qualidade da água são influenciadas pela erosão das vertentes. As encostas afetadas pelo grande incêndio de Picões e fonte de sedimentos para a albufeira ainda persistem, devido a uma lenta recuperação da cobertura vegetal, que se torna insuficiente para evitar escoamentos erosivos e, a perda contínua de solo e nutrientes, que não permitem alcançar as condições edáficas necessárias à recuperação do coberto vegetal e ao restauro do ecossistema degradado.

Uma estratégia de restauro do solo nas encostas afetadas pelo grande incêndio de Picões deve focar-se na proteção das superfícies mais relevantes hidrologicamente e que estão mal cobertas, visando gerar infiltração *in locus* e promover o armazenamento de água e carbono, a atividade biológica dos solos e, consequentemente, a recolonização pela vegetação.



Figura 47. Encostas da Albufeira de Lagos do Sabor afetadas pelo grande incêndio de Picões.

Neste contexto, o projeto “Soiling – Soluções inovadoras de base natural para restauro de serviços dos ecossistemas em áreas degradadas pelo grande incêndio de Picões, Portugal” surgiu com o objetivo de realizar intervenções de restauro do solo nas vertentes degradadas pelo grande incêndio de Picões que marginam os Lagos do Sabor, inseridas no “Sítio de Importância Comunitária Rios Sabor e Maçãs” (Figura 48). Enquanto o projeto “*ForestWaterUp* - Soluções baseadas na natureza para o restauro ecológico de solos degradados nos Lagos do Sabor” pretende ainda a rearborização de 30 ha nos Lagos do Sabor, com vista a promover o restauro de serviços dos ecossistemas.

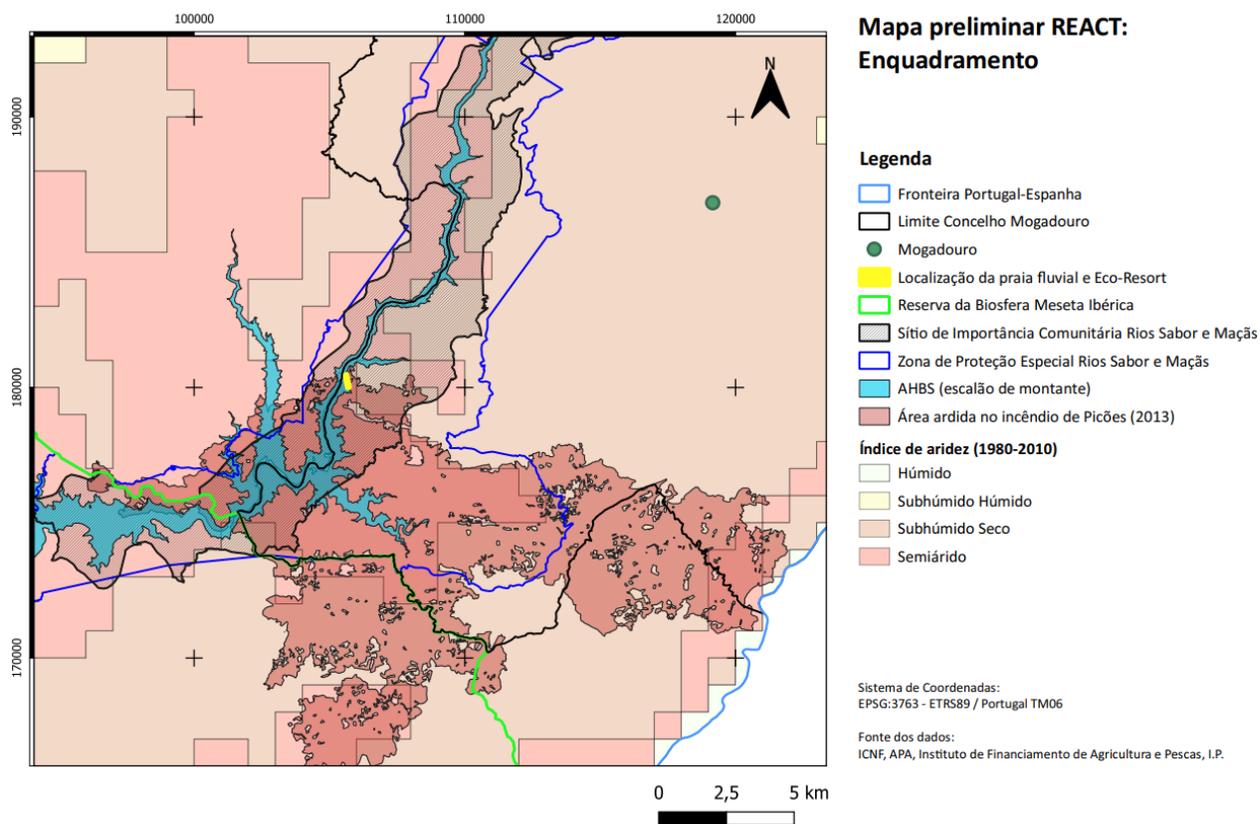


Figura 48 Área afetada pelo grande incêndio de Picões, índice de aridez e Rede Natura 2000.

7.2. *Soluções baseadas na Natureza (SbN)*

No âmbito de ambos os projetos, vão ser aplicadas diferentes Soluções baseadas na Natureza (SbN), com o objetivo de reduzir as perdas de solo por erosão e aumentar a fixação de carbono no solo, contribuindo assim para a promoção da sucessão natural, o aumento da resiliência dos ecossistemas e o combate à desertificação.

As SbN propostas são 1) um composto e 2) um biochar à base de bagaço de azeitona, que funcionarão como condicionadores do solo, com potencial de aumentar o teor de C orgânico, a estabilidade dos agregados, a capacidade de retenção de água e a disponibilidade de nutrientes no solo. Para obter o biochar de BA está a ser realizado o processo de pirólise a temperaturas de 500 e 800°C, com a impregnação de nutrientes (H_3PO_4 e MgO), o que permitirá testar sua utilidade como fertilizantes de liberação lenta. Espera-se que também contribua para a melhoria das propriedades físicas e químicas do solo.

No projeto Soiling, além dos condicionadores do solo (composto e biochar) serão testadas as crostas biológicas, espontâneas ou induzidas. Estas SbN são essenciais para o sucesso da reflorestação e para a recolonização pela vegetação natural, o que se refletirá na diminuição da taxa de erosão nas vertentes da albufeira e no aumento da qualidade da água.

A avaliação económica e ambiental da eficácia das intervenções assenta na quantificação de serviços ecossistémicos alimentada por protocolos de monitorização de processos erosivos (de campo, laboratorial e remota), propriedades do solo e qualidade da água na rede hidrográfica. Com estas medidas espera-se uma redução significativa da carga de sedimentos e das espécies químicas lançadas na albufeira do Baixo-Sabor e, dado que as SbN a aplicar são, per se, incorporações de carbono no solo, se aumente a resiliência do ecossistema da vertente a estados de tempo extremos.

7.3. Descrição da área de intervenção do Projeto SOILING

A área de intervenção do Projeto SOILING (Figura 49) está localizada ao sul da aldeia de Picões, em Alfandega da Fé, e abrange uma área de 155 hectares. A elevação varia de 228 m a 545 m na sua borda norte. Os declives são bastantes elevados, com 80% da área apresentando inclinação superior a 30%. A rede de drenagem é composta por talvegues dendríticos, nos quais riachos temporários podem escoar durante a estação chuvosa. De acordo com a classificação de *Strahler*, a ordem máxima dos riachos é dois. A área de captação máxima abrange 38 hectares, e o comprimento máximo de fluxo é de 745 m.

A única unidade de solos mapeada na região corresponde a Leptossolos Êutricos derivados de xisto. O xisto ordoviciano é o material de origem predominante do solo, embora impressionantes cristas de quartzito aflorem na área em direção perpendicular ao leito do rio Sabor. Os solos são, portanto, rasos, ácidos, pobres em matéria orgânica, com textura variando de franco-limosa a franco-arenosa, e com elevados teores de elementos grosseiros. O uso da terra não sofreu alterações nos últimos 15 anos, sendo dominado por espécies arbustivas e florestas, além de pequenos olivais próximos da albufeira. De acordo com o Índice de Aridez, a área está classificada como semiárida, e corresponde à classificação climática regional da Terra Quente, apresentando uma temperatura média anual superior a 14°C e precipitação anual inferior a 600 mm (Agroconsultores & Coba, 1991).

Neste contexto, serão implementadas as SbN de baixo impacto e custo-eficiência. As SbN serão aplicadas com enfoque em zonas críticas, como encostas inclinadas e margens de corpos de água que se conectam à albufeira do AHBS. A estratégia de intervenção está baseada em levantamentos detalhados das áreas através de voos drone para obter Modelos Digitais de Terreno (MDT) e de Superfície (MDS) de alta resolução espacial. Esses dados permitem criar mapas temáticos em SIG e desenvolver modelos de erosão das encostas (RUSLE) e da bacia hidrográfica (SWAT). Nestes momentos, tem sido desenvolvido uma metodologia cartográfica com recurso a geoprocessamento de MDT e MDS, de modo a obter padrões de localização otimizada das intervenções florestais (Figura 50). Este modelo, otimizado para Lagos

do Sabor, será aplicado na reflorestação do projeto *ForestWaterUp*, o que permitirá a redução do custo da operação na plantação à cova.

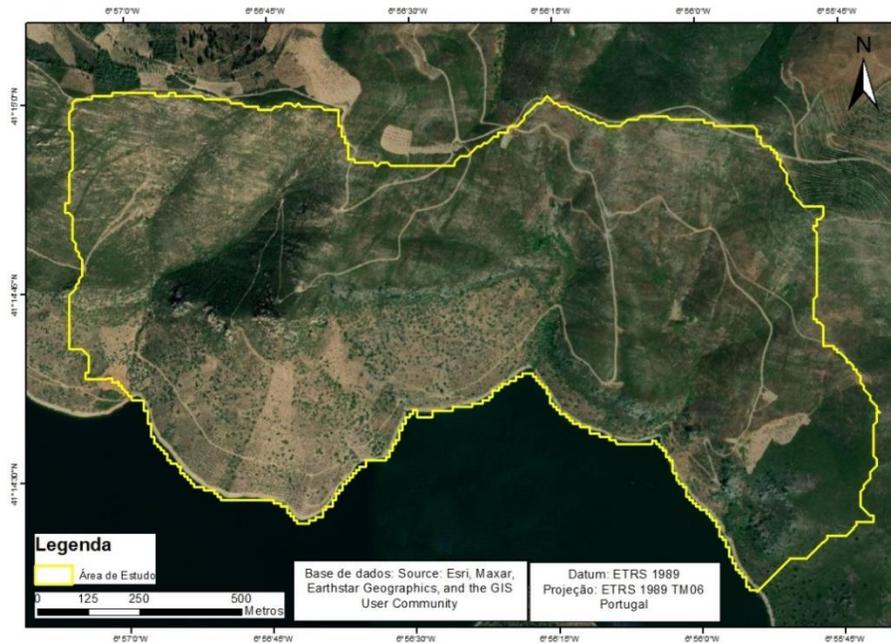


Figura 49. Área Piloto a ser intervencionada pelo projeto Soiling.

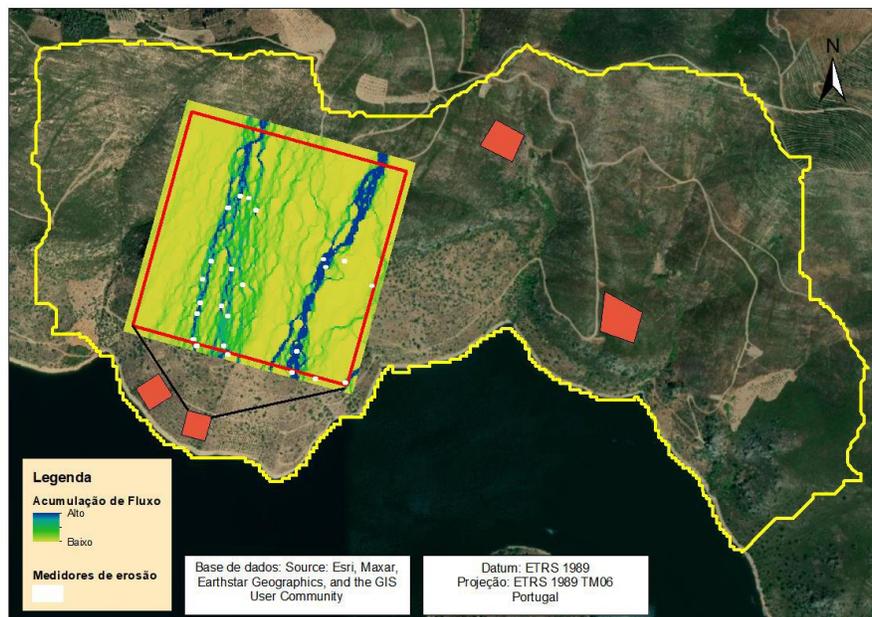


Figura 50. Identificação das áreas com maior acúmulo de escoamento numa área de teste nos Lagos do Sabor, por meio de levantamentos de campo com geoprocessamento de imagens de alta resolução.

7.4. Descrição da área de intervenção do Projeto *ForestWaterUp*

A área de intervenção do Projeto *ForestWaterUp* (Figura 51) está localizada nas freguesias de Meirinhos, Paradela, Brunhoso, União das freguesias de Remondes e Soutelo e União das freguesias de Mogadouro, Valverde, Vale de Porco e Vilar de Rei, concelho de Mogadouro, junto à Albufeira do Baixo Sabor, abrangendo uma área de cerca de 32 ha para reflorestação e de cerca de 42 km para reabilitação de caminhos florestais. Considerando a área até 50 m em volta dos locais de intervenção, a elevação varia entre os 71 m e os 255 m e o declive é bastante acentuado, sendo que cerca de 66% dessa área apresenta valores superiores a 30%. Quanto ao uso e ocupação do solo, esta divide-se entre matos (cerca de 13%), áreas florestais (cerca de 28%) e áreas agrícolas (cerca de 52%, com predominância do olival) (DGT, 2018).

A rearborização de cerca de 32 ha da será reforçada pela aplicação de condicionadores do solo, de forma a acelerar a recuperação da cobertura vegetal, ainda incipiente após o incêndio. Além disso, está prevista a instalação de pilhas de compostagem estáticas no mesmo local das intervenções florestais, de modo a aproveitar os resíduos florestais como agentes estruturantes. Por último, serão colocadas ilhas flutuantes de cortiça nas margens da albufeira, com o propósito de fornecer um banco de sementes, favorecendo a colonização das margens e a sucessão ecológica natural, e de, simultaneamente, providenciar nichos para a avifauna local, dado que a zona a reflorestar abrange localidades de reprodução de águia-de-bonelli, *Aquila fasciata*, e britango, *Neophron percnopterus*, ambas com estatuto de conservação *Em Perigo* (Cabral et al. 2005).

A rearborização em *ForestWaterUp* será realizada de acordo com o mapa da Figura , utilizando espécies identificadas em locais próximos não fustigados pelo incêndio, como a azinheira (*Quercus rotundifolia*), o sobreiro (*Q. suber*), o zimbro-galego (*Juniperus oxicedrus*), o medronheiro (*Arbutus unedo*), espécies adaptadas a uma reduzida disponibilidade hídrica, o freixo (*Fraxinus excelsior*), o salgueiro (*Salix* spp.) ou lodão (*Celtis australis*) para zonas de linhas de águas temporárias.

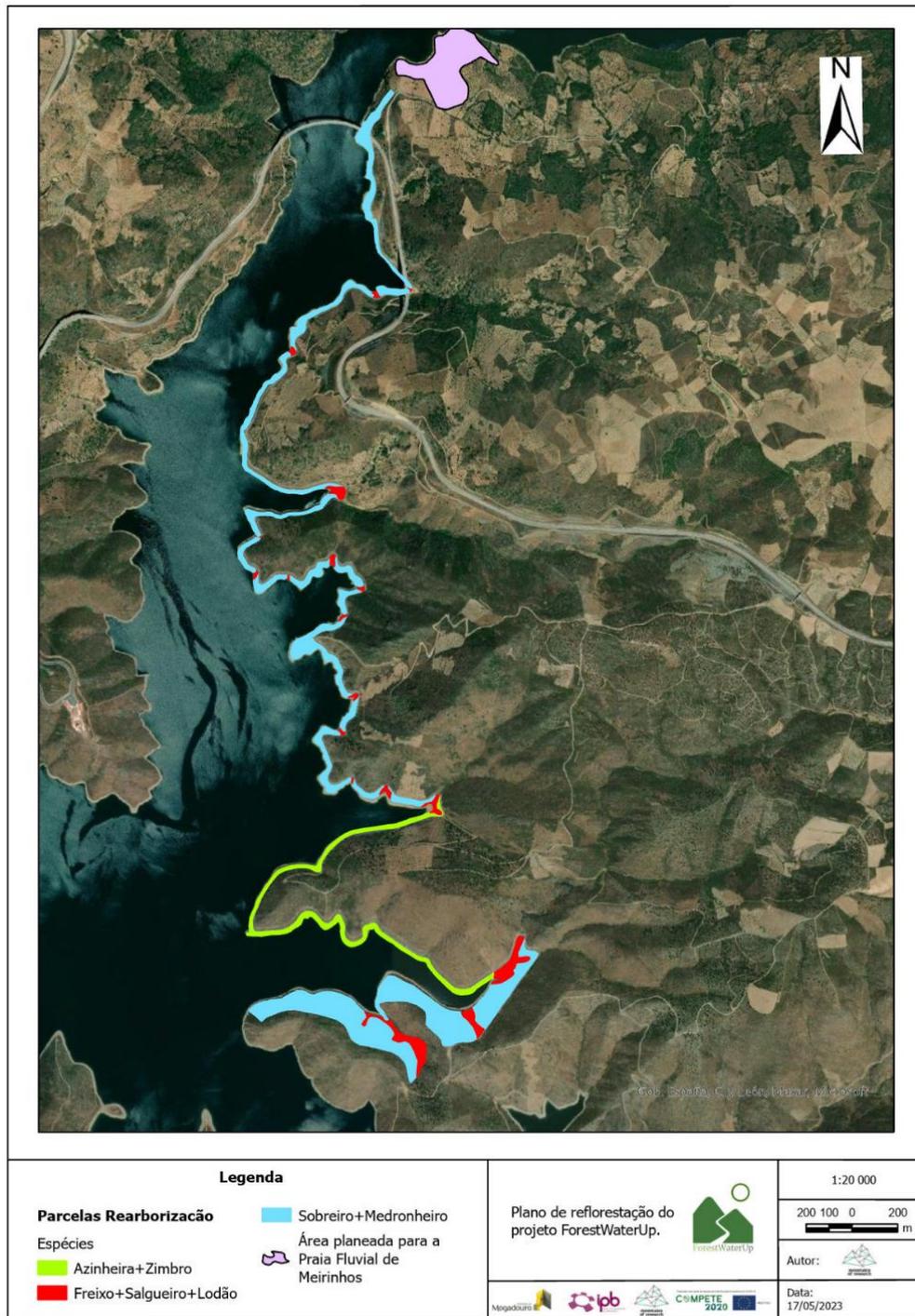


Figura 51. Localização das parcelas a reforestar e espécies a instalar no âmbito do projeto *ForestWaterUp*.

8. Nota final

Os vários capítulos deste Livro das Viagens de estudo do II Congresso Nacional das Ciências do Solo descreveram os trabalhos que estão na origem do interesse científico de cada uma das paragens selecionadas. No seu conjunto, refletem o persistente acumular de experiência sobre o território, as suas potencialidades, limitações e ameaças ao recurso solo, em busca de soluções para atingir as metas de Desenvolvimento Sustentável que são lema do Congresso.

Vale a pena sublinhar que este é um território frágil como todas as zonas de montanha, em particular da bacia mediterrânica onde a suscetibilidade à desertificação e à seca persiste severa, e no qual se operam mudanças no uso da terra profundamente associadas ao declínio demográfico prevalecente. Os elementos de contexto enunciados são também necessários considerar quando se trata de agir sobre o território gerindo as aplicações do conhecimento científico produzido através da experimentação, sempre parcelar como é de sua natureza. Na verdade, os reflexos desse conhecimento no território, a bem da sua sustentabilidade, nem sempre logram atingir integralmente os propósitos que o animaram sem a necessária compreensão do contexto e integração dos elementos que lhe definem o contorno. Nestes e naquele estão inevitavelmente os seus habitantes, a quem se destinam, em última instância o conhecimento científico adquirido, mas a quem raramente se sabe endereçar mensagens inteligíveis que se traduzam em apreensão e adoção.

Deseja-se o percurso realizado permita melhor compreender esta realidade. Serão bem-vindos de novo a este território aqueles a quem as Viagens de estudo lograram despertar interesse científico ou de outra natureza, específico ou de contexto, que venha a traduzir-se em contributos para o conhecimento e para as soluções, com base no Solo, para o caminho que legitimamente se quer trilhar, apontado aos cumprimentos dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

Os Editores

9. Referências

- Agroconsultores & Coba. (1991). Carta dos Solos, Carta do Uso Actual e Carta de Aptidão da Terra do Nordeste de Portugal. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Aguiar, C. (1992) Estudos Herbológicos no Trigo em Trás-os-Montes numa Perspectiva de Protecção Integrada. Dissertação de mestrado. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa
- Aguiar, C. F. (2000). Flora e vegetação da Serra de Nogueira e do Parque Natural de Montesinho [Tese de Doutoramento]. Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior de Agronomia.
- Alves, L. K., Figueiredo, T. D., Royer, A. C., Nóvoa-Muñoz, J. C., Méndez-López, M. & Fonseca, F. (2023). Erosão do solo em áreas de matos de montanha: efeito do fogo controlado. *Revista de Ciências Agrárias* 45(4), 541-545.
- Araújo, J., Figueiredo, T. & Castro, J. (2004). Sistema de Informação Geográfico da Carta de Solos do Nordeste de Portugal. In: Congresso Ibérico da Ciência do Solo. Bragança, Portugal, pp. 147.
- Barroso, A., Royer, A. C., Alves, L., Piovesan, E., Fernandes, M., Teixeira, B., Alves, D., Santos, P., Fonseca, F., Pamplona, J., Carvalho, M., Henriques, R., Hernandez, Z., Delerue-Matos, C., de, & Valente, T. (2021). Deteção remota apoiada por veículos aéreos não tripulados (VANT) aplicada à monitorização de áreas sujeitas a incêndios florestais. Congresso Ibérico Solos e desenvolvimento sustentável: desafios e soluções, Porto.
- BIOMA (2023). Bioeconomia para a mobilização da cadeia agroalimentar - estrutura do projeto. Disponível em: <https://projetobioma.pt/estrutura/>; Acesso em: 31/05/2023
- Blanco, H. & Lal, R. (2008). Principles of soil conservation and management. Springer, Dordrecht, London, pp. 617.
- Braga, R. F. (2023). Impactos no solo da aplicação de fogo prescrito: avaliações em condições reais e simuladas em propriedades físico-químicas e biológicas do solo. Dissertação de mestrado. Instituto Politécnico de Bragança. <http://hdl.handle.net/10198/28265>
- Cabral, M.J., Almeida, J., Almeida, P. R., Delliger, T., Ferrand de Almeida, N., Oliveira, M.E., Palmeirim, J.M., Queirós, A. I., Rogado, L. & Santos-Reis, M. (eds.). (2005). Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal. Instituto da Conservação da Natureza. Lisboa.
- Carvalho, A. L. de. (2018). Efeito da substituição de espécies florestais no armazenamento de carbono em áreas de montanha da Região Mediterrânea. Dissertação de mestrado. Instituto Politécnico de Bragança. <https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/17779>

- Castro, J., de Figueiredo, T., Fonseca, F., Castro, J. P., Nobre, S. & Pires, L. C. (2010). Montesinho Natural Park: General Description and Natural Values. En: N. Evelpidou, T. Figueiredo, F. Mauro, V. Tecim, & A. Vassilopoulos (eds.), *Natural Heritage from East to West: Case studies from 6 EU countries*. Springer. pp. 119-132. https://doi.org/10.1007/978-3-642-01577-9_15
- Cerdà, A., Terol E., Daliakopoulos I. N. (2021). Weed cover controls soil and water losses in rainfed olive groves in Sierra de Enguera, eastern Iberian Peninsula. *Journal of Environmental Management*, 290, 112516, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112516>
- Costa, S., Miranda, F., Teixeira F., Zidouh, A., Fernandes, C., Dias, L., Hernandez, Z. & Teixeira, A. (2022). Olive mill wastewaters in Northeastern Portugal: preliminary results on toxicity assessment and environmental impacts for Aquatic ecosystems. En 2º Congresso SIBECOL/ XXI Conferência AIL. Aveiro.
- Costa, S., Miranda, F., Teixeira F., Zidouh, A., Fernandes, C., Dias, L., Hernandez, Z. & Teixeira, A. (2023). Is olive oil value chain an environmental risk? Ecological quality evaluation of Tua River (Portugal) and multitrophic toxicity assessment. SETAC EUROPE 33rd Annual Meeting. Dublin.
- Direção Geral do Território (DGT). (2018). Carta de Uso e Ocupação do Solo - 2018, versão 2.
- Dissmeyer, George E. (1984) - A Guide for Predicting Sheet and Rill Erosion on Forest Land. USDA, Forest Service, Southern Region.
- FAO/UNESCO. (1988). Soil Map of the World, Revised Legend, Amended 4th Draft. Food and Agricultural Organization / United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2023). Statistical Database (FAOSTAT) - Crops and livestock products: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Figueiredo, T. de & Gonçalves, D. (1990). A Erosividade da Precipitação no Interior de Trás-os-Montes: distribuição espacial do factor R da Equação Universal de Perda de Solo estimado por modelo de Arnoldus. *Pedon* 9, 136-161.
- Figueiredo, T. de (2013). Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano. Instituto Politécnico de Bragança. Escola Superior Agrária. Série Estudos 84. ISBN 978-972-745-138-8.
- Fonseca, F., de Figueiredo, T., Nogueira, C. & Queirós, A. (2017). Effect of prescribed fire on soil properties and soil erosion in a Mediterranean mountain area. *Geoderma*, 307, 172-180. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.06.018>
- Fonseca, F., de Figueiredo, T., Vilela, Â., Santos, R., de Carvalho, A. L., Almeida, E. & Nunes, L. (2019). Impact of tree species replacement on carbon stocks in a Mediterranean mountain area, NE Portugal. *Forest Ecology and Management*, 439, 181-188.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.03.002>

- Fonseca, F., Figueiredo, T. de, Vilela, Â. M. A., Santos, R., Carvalho, A. L. de, Almeida, E. & Nunes, L. (2018). Impacto da substituição de espécies florestais no armazenamento de carbono em áreas de montanha da região mediterrânea. *Servicios ecosistémicos proporcionados por los suelos*, 594-597. <https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/18949>
- Fonseca, F., Silva, D., Bueno, P., Hernández, Z., Royer, A. C. & de Figueiredo, T. (2022). Temporal dynamics of carbon storage in a Mediterranean mountain scrubland managed by prescribed fire. *Catena*, 212, 106107.
- Gómez, J.A. (2017). Sustainability using cover crops in mediterranean tree crops, olives and vines - challenges and current knowledge. *Hungarian Geogr. Bull.*, 66, 13-28, [10.15201/hungeobull.66.1.2](https://doi.org/10.15201/hungeobull.66.1.2)
- Gumiere, S. J., Le Bissonais Y., Raclot D. & Cheviron, B. (2011). Vegetated filter effects on sedimentological connectivity of agricultural catchments in erosion modeling: A review. *Earth Surface Processes and Landforms* 36, 3-19.
- Hernández, Z., Figueiredo D., Royer A. C., Madeira F. & Figueiredo, T. de (2021). Otimização do processo industrial de compostagem de bagaço de azeitona no nordeste de Portugal. En 9º Simpósio Nacional de Olivicultura. Associação Portuguesa de Horticultura (APH), Oeiras, 56 pp.
- Hernández, Z., Figueiredo, D., Royer, A. C., Fonseca, F., Almendros, G. & Figueiredo, T. (2022). Qualidade da matéria orgânica e perda de fitotoxicidade em estágios progressivos da compostagem de bagaço de azeitona. *Revista de Ciências Agrárias*, 45 (4), 262-266.
- ICNF (2020). 8º Relatório provisório de incêndios rurais - 2020. Departamento de Gestão de Fogos Rurais /. <https://www.icnf.pt/api/file/doc/7218b448c991d725>
- ICNF (2023). Parques Naturais. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Disponível em: <https://www.icnf.pt/oquefazemos/materiaisinformativoseducativos/areasprotegidas/parquesnaturais>. Acesso: 12/05/2023
- ICNF (2008). Plano de Ordenamento do Parque Natural de Montesinho. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas.
- ICNF (2018). HaBMonte Projeto de Prevenção Estrutural e Conservação de Habitats Naturais Protegidos e Espécies Prioritárias do Parque Natural de Montesinho. Memória Descritiva. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas.
- INE (2021) - Estatísticas Agrícolas-2020. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística.

- INE (2022). Superfície das principais culturas agrícolas por localização geográfica (Região agrária) e Espécie; Anual (1). Instituto Nacional de Estatística.
https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0000019&contexto=bd&selTab=tab2
- IPMA (2023). Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Ficha Climatológica (1971-2000) - Mirandela.
https://www.ipma.pt/bin/file.data/climate-normal/cn_71-00_MIRANDELA.pdf
- Kavvadias, V. & Koubouris, G. (2019). Sustainable Soil Management Practices in Olive Groves. In Soil Fertility Management for Sustainable Development. En Panpatte D. G., Jhala Y. K. (eds.), Springer, pp. 167-188. 10.1007/978-981-13-5904-0_8
- Köppen, W. (1936). Das geographische System der Klimate. Handbuch der Klimatologie, v.1, Part C. En W. Köppen & R. Geiger (eds.). Gerbrüder Bornträger, Berlin, pp. 1-44.
- Madeira, F., Marques, T., Costa, S., Gerales, S. & Hernández, Z. (2021). Uso de artrópodes como bioindicadores da dinâmica de recuperação do solo pós-fogo. II Seminário da Rede Incêndios-Solo, II Seminário da Rede Incêndios-Solo “Incêndios, Solos e Território: da ameaça à sustentabilidade, Instituto Politécnico de Bragança, pp. 108.
- Martínez-Murillo, J.F., Remond, R. & Ruiz-Sinoga, J.D. (2020). Validação do fator RUSLE K usando estabilidade de agregados em paisagens ecogeomorfológicas mediterrâneas contrastadas (sul da Espanha). *Cerca de. Res.*, 183, 109160, 10.1016/j.envres.2020.109160
- Méndez-López, M., Gómez-Armesto, A., Alonso-Vega, F., Pontevedra-Pombal, X., Fonseca, F., De Figueiredo, T., Arias-Estévez, M. & Nóvoa-Muñoz, J. C. (2022). The role of afforestation species as a driver of Hg accumulation in organic horizons of forest soils from a Mediterranean mountain area in SW Europe. *Science of the Total Environment*, 827, 154345.
- Morgan, R.P.C. (2005). Soil erosion and conservation. 304. <https://www.wiley.com/en-us/Soil+Erosion+and+Conservation%2C+3rd+Edition-p-9781405117814>
- Munetiko, Y. (2022). Avaliação da eficiência de condicionadores do solo à base do bagaço de azeitona na redução da erosão hídrica. Dissertação de mestrado. Instituto Politécnico de Bragança. <http://hdl.handle.net/10198/26709>
- Novara, A., Stallone, G., Cerdà, A. & Gristina, L. (2019). The effect of Shallow Tillage on soil erosion in a semi-arid vineyard. *Agronomy* 9. <https://doi.org/10.3390/>
- Piovesan, E. L.. 2022. Efeitos de curta duração do fogo controlado em propriedades e processos físicos do solo: um exemplo em áreas de matos do Parque Natural de Montesinho. Dissertação de mestrado. Instituto Politécnico de Bragança. <http://hdl.handle.net/10198/25116>

- Posthumus, H., Deeks L. K., Rickson R. J. & Quinton J. N. (2015). Costs and benefits of erosion control measures in the UK. *Soil Use and Management*, 31 (1), 16-33. <https://doi.org/10.1111/sum.12057>
- Royer, A.C.; Silvestre, L. M., Figueiredo, D., Figueiredo, T., Baldo, M. C., Fonseca, F. & Hernández, Z. (2022). Efeito de condicionadores à base de bagaço de azeitona na estabilidade da agregação do solo: resultados preliminares de ensaio à micro-escala. *Revista de Ciências Agrárias*, 45(4), 416-420.
- Santos, I. D. N. (2022). Impacto do fogo controlado na estabilidade da agregação do solo em áreas de matos do Parque Natural de Montesinho, NE Portugal. Dissertação de mestrado. Instituto Politécnico de Bragança. <http://hdl.handle.net/10198/25851>
- Santos, I., Figueiredo, T., Royer, A. C., Szymczak, D. & Fonseca, F. (2022). Impacto do fogo controlado na estabilidade da agregação do solo em áreas de matos do Parque Natural de Montesinho, NE Portugal. *Revista de Ciências Agrárias*, 45(4), 421-425.
- Santos, R. V., Fonseca, F., Royer, A. C., Hernández, Z., Baptista, P., & Figueiredo, T. (2022) - Características Edáficas das Áreas de Olival do Nordeste de Portugal: abordagem baseada em cartografia de solos e ocupação do solo. *Revista de Ciências Agrárias*, 45(4), 193-197.
- Segatelli, A. B., Figueiredo, D., Hernández, Z. & Figueiredo, T. de (2023). Efeito de diferentes agentes estruturantes e revolvimentos na compostagem do bagaço de azeitona. *Revista de Ciências Agrárias* (na imprensa).
- Sequeira, E., Aguiar, C. & Meireles, C. (2010). Ultramafics of Bragança Massif: Soils, Flora and Vegetation. En N. Evelpidou, T. Figueiredo, F. Mauro, V. Tecim, & A. Vassilopoulos (eds.), *Natural Heritage from East to West: Case studies from 6 EU countries*, Springer, pp. 143-149. https://doi.org/10.1007/978-3-642-01577-9_17
- Silvestre, L. M. (2022). Utilização de condicionadores à base de bagaço de azeitona para melhoria da estabilidade da agregação do solo na região de Trás-os Montes. Dissertação de mestrado. Instituto Politécnico de Bragança. <http://hdl.handle.net/10198/25734>
- Terramater (2021). Terramater. Prevenção e recuperação de áreas queimadas. <https://www.terramaterpoctep.eu/>
- Toloto, M., Lima, A., Figueiredo D., Fonseca, F., Hernández, Z. & de Figueiredo T. (2023). Prediction of soil organic carbon using colorimetric parameters: an example in Leptosols (NE Portugal). *Revista de Ciências Agrárias* (na imprensa).
- Verheijen, F.G.A., Jones, R.J.A., Rickson, R.J. & Smith, C.J. (2009). Tolerable versus actual soil erosion in Europe. *Earth-Science Reviews*, 94, 23-38.

Apoios

Entidades



Projetos

Projetos terminados ou em curso cujo suporte financeiro permitiu realizar os trabalhos de investigação que dão conteúdo a esta publicação



New management strategies in olive groves for improving soil health and crop yield



(código nº NORTE-01-0145-FEDER-000060).



Tecnologia limpa para a valorização dos subprodutos do bagaço na indústria extratora de azeite



COMPETE2020 (código nº 72124)



Soluções integradas de bio economia para a mobilização da cadeia agroalimentar



Programa Mobilizador (código Nº 46112)

Iceland
Liechtenstein
Norway grants



'Environment Programme'
European Economic Area (EEA) Financial Mechanism 2014-2021



Call5#N11: Soluções inovadoras de base natural para restauro de serviços dos ecossistemas em áreas degradadas pelo grande incêndio de Póvoas, Portugal

Call5#N9: LandUnderPressure - Avoiding, mitigating and restoring land under pressure to combat desertification and increase resilience to climate change in the montado.



Soluções baseadas na natureza para o restauro ecológico de solos degradados nos Lagos do Sabor



REACT (POCI-07-62G4-FEDER-181557)



HARVEST - Valorizar a Horta Familiar de forma a educar para uma dieta mediterrânica, saudável E Sustentável.



AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO

PRR 12/005-i03/2021 - HARVEST - (PRR-005-i03-I-000157)

Publicado na Década Internacional dos Solos (2015 – 2024)
proclamada pela União Internacional das Ciências do Solo (IUSS)



Organização:

