

1. Enquadramento

Os incêndios florestais, dependendo da sua intensidade e severidade [1], podem provocar alterações profundas nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, comprometendo a sua fertilidade, os processos hidrológicos e a capacidade de regeneração da vegetação. Em ecossistemas mediterrânicos, tem-se registado que a frequência e intensidade elevadas de incêndios modificam drasticamente características abióticas do solo (pH, teor de água, matéria orgânica, nutrientes) e as propriedades bióticas (biomassa e atividade microbiana). O calor intenso do fogo reduz os componentes mais sensíveis da matéria orgânica do solo — açúcares simples, aminoácidos, compostos solúveis e biomassa microbiana — afetando negativamente a dinâmica de nutrientes e a qualidade biológica do solo [2]. Estas perturbações dificultam a recuperação natural do solo e das plantas no pós-incêndio, exigindo estratégias de gestão adequadas [3–5].

2. Contexto

Em zonas de clima mediterrânico (como Portugal), é comum que a mesma área enfrente fogos repetidos num curto intervalo de tempo. Estudos sugerem que a repetição de incêndios (quatro ou mais incêndios num período de cinquenta anos) pode degradar gravemente a qualidade do solo, afetando o ciclo de nutrientes e a atividade microbiana [4]. Este contexto realça a importância de compreender os impactos dos incêndios no solo e de implementar ações de mitigação no período pós-incêndio, especialmente em ambientes agrícolas (p. ex. vinha) que dependem da capacidade de regeneração do solo e das suas funções.

3. Impacto do incêndio no solo

Quadro 1- Impactos e alterações dos incêndios no solo.

ALTERAÇÃO		IMPACTOS	REFERÊNCIAS
Física	Estrutura do solo	1. O calor pode causar a destruição de agregados do solo, especialmente em solos com baixo teor de matéria orgânica; 2. Maior compactação e redução da porosidade, o que afeta a infiltração de água e arejamento do solo; 3. Hidrofobicidade (repelência à água) na camada superficial devido à condensação de compostos orgânicos que volatilizam durante o fogo.	[6–10]
	Erosão	1. Remoção da cobertura vegetal pelo fogo expõe o solo à erosão hídrica e eólica; 2. A perda de estrutura por destruição dos agregados de solo, deixa o solo altamente vulnerável, podendo a erosão hídrica num único evento de chuva forte, arrastar a camada superficial fértil a uma taxa superior à da sua reposição natural.	[11]

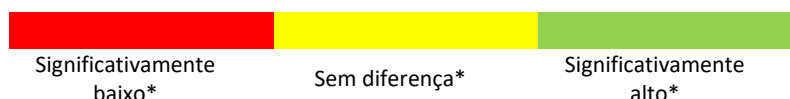
ALTERAÇÃO		IMPACTOS	REFERÊNCIAS
Química	Matéria Orgânica	1. Redução do teor de carbono orgânico do solo; 2. Fogo de baixa intensidade pode aumentar temporariamente a disponibilidade de nutrientes como fósforo e potássio, devido à mineralização da matéria orgânica por combustão.	[12,13]
	pH	1. As cinzas geralmente provocam um aumento do pH do solo, tornando-o mais alcalino devido aos cátions básicos libertados (por exemplo, Ca^{2+}, K^+, Mg^{2+}); 2. Em solos naturalmente ácidos, o efeito pode ser temporário, e o pH pode retornar aos níveis anteriores após alguma precipitação; 3. Incêndios de severidade moderada, que não consumam totalmente a matéria orgânica, podem deixar resíduos orgânicos ácidos ou compostos voláteis que acidificam temporariamente o solo, levando mesmo a decréscimos de pH.	[1,6,12,14]
Química	Fertilidade	1. Fase imediata pós-incêndio tende a ser marcada por oscilações de nutrientes: libertação de fósforo, cálcio, potássio e magnésio nas cinzas (aumentam temporariamente a fertilidade) e redução do azoto total e matéria orgânica; 2. A destruição de frações lábeis da matéria orgânica pode aumentar a solubilização e mobilidade de certos elementos potencialmente tóxicos, como o chumbo (Pb), o mercúrio (Hg) e o cádmio (Cd); 3. Empobrecimento químico do solo queimado em comparação com a situação pré-incêndio, através da remoção de cinzas e nutrientes pela erosão.	[4,12,15,16]
Biológica	Microbiota	1. Redução da biomassa microbiana e da atividade enzimática do solo; 2. Impacto negativo na decomposição da matéria orgânica e no ciclo dos nutrientes; 3. Microrganismos benéficos do solo podem ser parcial ou totalmente eliminados nas camadas sujeitas a calor intenso, e a fauna do solo (insetos, minhocas, etc.) sofre elevadas mortalidades ou migram para camadas mais profundas; 4. Incêndios de baixa intensidade e severidade podem estimular temporariamente grupos microbianos ou enzimas devido ao aporte repentino de nutrientes disponíveis e à redução de competidores ou predadores.	[5,7,13,17]

Num estudo realizado no nordeste de Espanha, foi acompanhado o impacto dos incêndios florestais sobre as propriedades do solo, durante dezoito anos, em áreas afetadas por incêndios de baixa e alta severidade [18]. Os resultados deste estudo encontram-se representados no Quadro 2:

Quadro 2- Efeitos dos incêndios florestais nos parâmetros analíticos de qualidade do solo [18].

		Pós-incêndio	Médio prazo (7 anos)	Longo Prazo (18 anos)
Baixa Severidade	Azoto Total (%)			
	Carbono Total (%)			
	Relação C/N			
	MO (%)			
	Cálcio (ppm)			
	Magnésio (ppm)			
	Sódio (ppm)			
	Potássio (ppm)			

		Pós-incêndio	Médio prazo (7 anos)	Longo Prazo (18 anos)
Alta severidade	Azoto Total (%)			
	Carbono Total (%)			
	Relação C/N			
	MO (%)			
	Cálcio (ppm)			
	Magnésio (ppm)			
	Sódio(ppm)			
	Potássio (ppm)			



*Diferenças relativamente ao controlo

Verificou-se que incêndios de alta severidade causam uma redução persistente nos níveis de matéria orgânica, carbono total, cálcio e magnésio, dificultando a recuperação natural do solo. Os autores sugerem que a perda de nutrientes se deve sobretudo à erosão, lixiviação e remoção da vegetação, destacando a necessidade de estratégias de recuperação para solos expostos a incêndios severos [18].

4. Estratégias de mitigação dos impactos do incêndio no solo

Após um incêndio, é crucial implementar estratégias de mitigação para restaurar as propriedades do solo e promover a recuperação da vinha. O Quadro 3 resume as estratégias que devem ser adaptadas às condições locais e à severidade do incêndio.

Quadro 3- Objetivos e estratégias de mitigação dos impactos do incêndio no solo.

OBJETIVO	ESTRATÉGIA	EFEITO	REFERÊNCIAS
Proteção contra a erosão	Mulching (Aplicação de cobertura orgânica morta no solo com palhas ou resíduos vegetais)	1. Reduz o impacto das gotas de chuva (prevenindo a selagem superficial e erosão); 2. Diminui a velocidade do escoamento superficial; 3. Mantém a humidade do solo ao diminuir a evaporação; 4. Modera as oscilações térmicas diárias do solo. Recomendação: Evitar aplicar quantidades excessivas, pois dificulta a emergência de nova vegetação e pode causar anoxia (ausência de oxigénio) superficial do solo e desenvolvimento de fungos patogénicos.	[3,6,7]
	Barreiras Físicas	1. Instalação de barreiras físicas, como mantas de fibras naturais ou geotêxteis.	[3]
Recuperação da fertilidade	Fertilização Orgânica	1. Melhora a estrutura física do solo; 2. Fornece nutrientes de libertação gradual; 3. Substrato para a recolonização microbiana.	[5,15,19]

OBJETIVO	ESTRATÉGIA		EFEITO	REFERÊNCIAS
Recuperação da fertilidade	Fertilização Mineral	Fornecimento imediato de nutrientes, principalmente azoto, enxofre e outros elementos altamente voláteis ou perdidos. Recomendação: evitar o excesso de fertilização mineral, que pode levar à lixiviação de nutrientes.	- Altas concentrações de nutrientes disponíveis logo após o incêndio, podem anular a necessidade de fertilização no primeiro ano; - Eficácia depende do estado do solo e da sincronização com as necessidades das videiras em recuperação; - O uso exclusivo e prolongado de fertilização mineral na vinha, tem sido associado a uma queda no teor de carbono do solo e perda de qualidade estrutural do solo.	[13,20,21]
Promoção da atividade microbiana	Inoculação Microbiana	- Inoculação direta com fungos micorrízicos arbusculares (AMF), tais como <i>Rhizophagus intraradices</i>, <i>Funneliformis mosseae</i> e <i>Claroideoglomus etunicatum</i>; - Inoculação com bactérias promotoras do crescimento vegetal e decompositoras, como <i>Bacillus subtilis</i>, <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Azospirillum brasilense</i>. - Inoculação com consórcios de microrganismos isolados de solos naturais das proximidades.	- Acelera a recuperação da atividade biológica do solo e melhora a disponibilidade de nutrientes para as plantas; - Aumenta a diversidade funcional do solo e fortalece as redes microbianas benéficas; - Acelera o ciclo dos nutrientes. Recomendação: a inoculação de microrganismos deve ser previamente testada, em ensaios em vaso com solo queimado ou em parcelas-piloto no terreno, de forma a avaliar a sua viabilidade e eficácia, antes de proceder à inoculação em larga escala.	[5,17,22–26]
	Cobertura vegetal	- Incentivar a regeneração natural da flora autóctone; - Em áreas bastante descobertas ou com forte declive, recorrer à sementeira direta de herbáceas ou leguminosas de cobertura para acelerar a revegetação; - Efetuar a revegetação em conjunto com outras ações imediatas (como o <i>mulching</i>).	- Funciona também como barreira viva contra a erosão; - Baixa a temperatura superficial e adiciona carbono orgânico através da manta morta e das raízes; - Ajuda a fixar azoto atmosférico no solo (leguminosas), melhora a estrutura e promove a atividade microbiana. Recomendação: Recomenda-se que as misturas de sementes a utilizar sejam previamente testadas, em ensaios em vaso com solo queimado ou em parcelas-piloto no terreno, de forma a avaliar a sua viabilidade e eficácia na estabilização do solo, antes de proceder à aplicação em larga escala.	[3,6,15]

5. Monitorização

Após um incêndio, é essencial monitorizar regularmente as propriedades do solo, incluindo a humidade, o pH e a atividade microbiana. Esta informação é crucial para ajustar as estratégias de recuperação e garantir a eficácia das intervenções [6,10]:

Observações de campo frequentes – Observar, especialmente após eventos de precipitação, se há sinais de erosão

(regos, ravinas), acumulação de cinzas em certos pontos da parcela, a cotas mais baixas, aparecimento de vegetação espontânea ou infestantes. Essas observações permitem detetar problemas precocemente [13].

Análises periódicas de solo – Devem recolher-se amostras nas áreas atingidas pelo incêndio, que permitam medir parâmetros como pH, condutividade elétrica, teor de matéria orgânica, macronutrientes (N, P, K) e outros indicadores de fertilidade. Podem ocorrer alterações significativas em todo o perfil de solo arável, devido principalmente à percolação de compostos e ao calor radiante – portanto, é importante monitorizar o solo até aos 30 cm de profundidade.

Gestão Adaptativa – A gestão pós-incêndio deve ser adaptativa, com base nos resultados da monitorização e nas condições climáticas. Em áreas com alto risco de erosão, pode ser necessário implementar medidas adicionais, como a construção de patamares de contenção temporários ou a instalação de sistemas de drenagem [3,11].

5.1. Monitorização de indicadores biológicos (biomassa microbiana e atividade enzimática)

A biomassa microbiana e a atividade enzimática do solo podem ser severamente reduzidas ou alteradas, comprometendo a fertilidade, assim como a consequente sanidade e produtividade da vinha. A monitorização destes indicadores permite avaliar a recuperação biológica do solo [22,23]. O quadro seguinte ilustra como estes indicadores podem ser avaliados de forma prática, tanto em campo como em laboratório. A amostragem de solos para análise em laboratório requer condições específicas de recolha, transporte e armazenamento das amostras, pelo que se devem consultar os laboratórios responsáveis pela análise para tomar conhecimento das mesmas. Recomenda-se a análise de uma bateria de indicadores, uma vez que cada um destes parâmetros individualmente não permite concluir sobre a atividade metabólica da comunidade microbiana. Outros parâmetros microbianos podem ser analisados, sendo esta lista apenas exemplificativa.

Quadro 4- Principais métodos para monitorização de indicadores biológicos do solo em contexto de pós-incêndio.

TIPO DE AVALIAÇÃO	MÉTODO	OBSERVAÇÕES	REFERÊNCIAS
Visual (campo)	Observação de presença de minhocas, fungos e acumulação de resíduos vegetais.	Observação simples que pode indicar níveis baixos ou altos de atividade biológica, útil como triagem inicial.	[22]
Respiração (kits CO₂) (campo)	Kits com recipiente e indicador colorimétrico (sensível ao CO ₂).	Mudança de cor (depende do kit comercial) indica libertação de CO ₂ , associada à atividade microbiana; Fácil aplicação em campo.	[27]
Respiração (laboratorial-incubação)	Solo humedecido, incubado em frasco fechado, durante pelo menos 2 dias, a 19-22°C, com medição manométrica do consumo de oxigénio.	Medição do O ₂ consumido, através da redução de pressão no interior do frasco, resultante do consumo de oxigénio e da complexação do CO ₂ produzido com um adsorvente; reflete a respiração microbiana basal.	[28–30]
Mineralização do azoto e nitrificação potencial (laboratorial)	Incubação do solo durante 7 dias (40°C) e 5h (25°C), com medição dos teores de amónio (NH ₄ ⁺) e nitritos (NO ₂ -N), respetivamente, por espectrofotometria.	Síntese de amónia a partir de formas orgânicas de azoto, e sua oxidação em nitritos. Estes dois parâmetros são indicadores da performance do ciclo do azoto no solo.	[31]
Biomassa microbiana (laboratorial)	Método de fumigação-extração com clorofórmio que estima a biomassa de microrganismos vivos no solo, extraíndo e medindo o C, N, S e P, após fumigação com clorofórmio durante 24h.	Durante a fumigação as células microbianas sofrem lise e os elementos que as compõem são libertados. O carbono é extraído com sulfato de potássio e a sua quantidade é determinada em amostras fumigadas e não fumigadas, sendo a diferença no carbono extraído usada para determinar o carbono da biomassa microbiana. Este método pode ser influenciado pela presença de raízes, que devem ser retiradas antes da análise.	[23,32]

TIPO DE AVALIAÇÃO	MÉTODO	OBSERVAÇÕES	REFERÊNCIAS
Desidrogenases (laboratorial)	Incubação do solo durante 24h a 40°C, com medição por espectrofotometria do trifetil formazão formado por redução do cloreto de trifetil tetrazólio.	Desidrogenases são enzimas da cadeia respiratória das células microbianas, sendo a sua atividade indicadora da atividade metabólica da comunidade. O aumento da sua atividade pode ser uma resposta primária ao aumento de substrato orgânico ou secundária resultante do aumento da comunidade microbiana. Neste caso não é possível identificar que populações de microrganismos estão a contribuir para este efeito.	[32–35]
Fosfatases ácidas (laboratorial)	Incubação do solo, durante 1h a 37°C, com medição por espectrofotometria do p-nitrofenol formado pela atividade das fosfatases.	Avalia a capacidade do solo em disponibilizar fósforo na forma iónica a partir da matéria orgânica. O aumento da atividade das fosfatases é estimulado pela baixa disponibilidade de fósforo. Parâmetro influenciado pelo pH e pelas práticas de gestão do solo.	[32–36]
Urease (laboratorial)	Incubação do solo durante 2h a 37°C, com medição por espectrofotometria da amónia (NH ₄ ⁺) formada por hidrólise da ureia.	Associada à transformação da ureia em formas de azoto assimilável pelas plantas. Parâmetro influenciado pelas práticas de gestão do solo.	[32,33,35,36]

6. Conclusão

A ocorrência de incêndios pode conduzir a alterações significativas nas características e biodiversidade do solo, com implicações críticas em áreas agrícolas, na qual se inclui a vinha. Os efeitos negativos observados podem incluir a alteração da estrutura física do solo, aumento da hidrofobicidade e maior suscetibilidade à erosão, além de alterações na composição química, como redução do conteúdo em matéria orgânica e oscilações no pH e na disponibilidade de nutrientes. Biologicamente, a redução acentuada da biomassa microbiana e da atividade enzimática, compromete os ciclos biogeoquímicos e os processos naturais de recuperação do solo, e, portanto, neste cenário, a adoção imediata de medidas de mitigação revela-se essencial para minimizar estes impactos. A monitorização regular e rigorosa das propriedades do solo, incluindo indicadores biológicos, é também fundamental para garantir que as estratégias implementadas sejam ajustadas às condições locais, permitindo recuperar a biodiversidade e produtividade da vinha a curto e longo prazo.

7. Bibliografia

1. Bento-Gonçalves, A.; Ferreira-Leite, F.; Vieira, A. Frequência, Intensidade e Severidade, Três Conceitos-Chave No Estudo Dos Incêndios Florestais. In *Incêndios florestais: Em busca de um novo paradigma – II Diálogo entre Ciência e Utilizadores*; Lourenço, L., Tedim, F., Ferreira, C., Eds.; Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra / NICIF, **2019**; pp. 31–42 ISBN 978-972-8330-25-5.
2. Salgado, L.; Alvarez, M.G.; Díaz, A.M.; Gallego, J.R.; Forján, R. Impact of Wildfire Recurrence on Soil Properties and Organic Carbon Fractions. *J Environ Manage* **2024**, *354*, doi:10.1016/j.jenvman.2024.120293.
3. Neary, D.G.; Leonard, J.M. Soil Conservation after Wildfires: Challenges, Failures, and Successes. In *Soil Conservation: Strategies, Management and Challenges*; Gonçalves, A.J.B., Vieira, A.A.B., Eds.; NY: Nova Science Publishers, **2021**; p. 36 ISBN 978-1-53619-513-2.
4. Memoli, V.; Panico, S.C.; Santorufo, L.; Barile, R.; Di Natale, G.; Di Nunzio, A.; Toscanesi, M.; Trifuoggi, M.; De Marco, A.; Maisto, G. Do Wildfires Cause Changes in Soil Quality in the Short Term? *Int J Environ Res Public Health* **2020**, *17*, 1–14, doi:10.3390/ijerph17155343.
5. García-Carmona, M.; García-Orenes, F.; Arcenegui, V.; Mataix-Solera, J. The Recovery of Mediterranean Soils After Post-Fire Management: The Role of Biocrusts and Soil Microbial Communities. *Spanish Journal of Soil Science* **2023**, *13*, doi:10.3389/sjss.2023.11388.
6. Francos, M.; Colino-Prieto, F.; Sánchez-García, C. How Mediterranean Ecosystem Deals with Wildfire Impact on Soil Ecosystem Services and Functions: A Review. *Land (Basel)* **2024**, *13*, doi:10.3390/land13040407.
7. Lucas-Borja, M.E.; Bombino, G.; Carrà, B.G.; D'agostino, D.; Denisi, P.; Labate, A.; Plaza-Alvarez, P.A.; Zema, D.A. Modeling the Soil Response to Rainstorms after Wildfire and Prescribed Fire in Mediterranean Forests. *Climate* **2020**, *8*, 1–20, doi:10.3390/cli8120150.
8. Šimanský, V. Changes in Soil Structure and Soil Organic Matter Due to Different Severities of Fire. *Ekologia Bratislava* **2015**, *34*, 226–234, doi:10.1515/eko-2015-0022.
9. Pardini, G.; Gispert, M.; Dunjó, G. Relative Influence of Wildfire on Soil Properties and Erosion Processes in Different Mediterranean Environments in NE Spain. *Science of the Total Environment* **2004**, *328*, 237–246, doi:10.1016/j.scitotenv.2004.01.026.
10. Pereira, P.; Francos, M.; Brevik, E.C.; Ubeda, X.; Bogunovic, I. Post-Fire Soil Management. *Curr Opin Environ Sci Health* **2018**, *5*, 26–32, doi:10.1016/j.coesh.2018.04.002.
11. Fox, D.M.; Laaroussi, Y.; Malkinson, L.D.; Maselli, F.; Andrieu, J.; Bottai, L.; Wittenberg, L. POSTFIRE: A Model to Map Forest Fire Burn Scar and Estimate Runoff and Soil Erosion Risks. *Remote Sens Appl* **2016**, *4*, 83–91, doi:10.1016/j.rsase.2016.07.002.
12. Arunrat, N.; Kongsurakan, P.; Solomon, L.W.; Sereenonchai, S. Fire Impacts on Soil Properties and Implications for Sustainability in Rotational Shifting Cultivation: A Review. *Agriculture (Switzerland)* **2024**, *14*, doi:10.3390/agriculture14091660.
13. Garrido-Ruiz, C.; Sandoval, M.; Stolpe, N.; Sanchez-Hernandez, J.C.; Campos, C. Effect of Wildfires on Soil Properties of Agricultural Lands of Mediterranean-Climate Region in Chile. *Chil J Agric Res* **2023**, *83*, 643–655, doi:10.4067/S0718-58392023000600643.
14. Johnson, D.B.; Yedinak, K.M.; Sulman, B.N.; Berry, T.D.; Kruger, K.; Whitman, T. Effects of Fire and Fire-Induced Changes in Soil Properties on Post-Burn Soil Respiration. *Fire Ecology* **2024**, *20*, 90, doi:10.1186/s42408-024-00328-1.
15. Fernández-García, V.; Marcos, E.; Huerta, S.; Calvo, L. Soil-Vegetation Relationships in Mediterranean Forests after Fire. *For Ecosyst* **2021**, *8*, doi:10.1186/s40663-021-00295-y.
16. Abraham, J.; Dowling, K.; Florentine, S. The Unquantified Risk of Post-Fire Metal Concentration in Soil: A Review. *Water Air Soil Pollut* **2017**, *228*, doi:10.1007/s11270-017-3338-0.
17. Smith, N.R.; Kishchuk, B.E.; Mohn, W.W. Effects of Wildfire and Harvest Disturbances on Forest Soil Bacterial Communities. *Appl Environ Microbiol* **2008**, *74*, 216–224, doi:10.1128/AEM.01355-07.
18. Francos, M.; Ubeda, X.; Pereira, P.; Alcañiz, M. Long-Term Impact of Wildfire on Soils Exposed to Different Fire Severities. A Case Study in Cadiretes Massif (NE Iberian Peninsula). *Science of the Total Environment* **2018**, *615*, 664–671, doi:10.1016/j.scitotenv.2017.09.311.
19. Cellier, A.; Gauquelin, T.; Baldy, V.; Ballini, C. Effect of Organic Amendment on Soil Fertility and Plant Nutrients in a Post-Fire Mediterranean Ecosystem. *Plant Soil* **2014**, *376*, 211–228, doi:10.1007/s11104-013-1969-5.
20. Beyers, J.L.; Brown, J.K.; Busse, M.D.; Debano, L.F.; Elliot, W.J.; Ffolliott, P.F.; Jacoby, G.R.; Knoepp, J.D.; Landsberg, J.D.; Neary, D.G.; et al. Wildland Fire in Ecosystems: Effects of Fire on Soils and Water. *General Technical Report RMRS-GTR-42* **2005**, *4*, 0–250.
21. Jakšić, S.; Ninkov, J.; Milić, S.; Vasin, J.; Banjac, D.; Jakšić, D.; Živanov, M. The State of Soil Organic Carbon in Vineyards as Affected by Soil Types and Fertilization Strategies (Tri Morave Region, Serbia). *Agronomy* **2021**, *11*, doi:10.3390/agronomy11010009.
22. Guerrero, C.; Mataix-Solera, J.; Gómez, I.; García-Orenes, F.; Jordán, M.M. Microbial Recolonization and Chemical Changes in a Soil Heated at Different Temperatures. *Int J Wildland Fire* **2005**, *14*, 385–400, doi:10.1071/WF05039.
23. Bárcenas-Moreno, G.; García-Orenes, F.; Mataix-Solera, J.; Mataix-Beneyto, J.; Bååth, E. Soil Microbial Recolonisation after

- a Fire in a Mediterranean Forest. *Biol Fertil Soils* **2011**, 47, 261–272, doi:10.1007/s00374-010-0532-2.
24. Torres, N.; Yu, R.; Kaan Kurtural, S. Inoculation with Mycorrhizal Fungi and Irrigation Management Shape the Bacterial and Fungal Communities and Networks in Vineyard Soils. *Microorganisms* **2021**, 9, doi:10.3390/microorganisms9061273.
 25. Rodríguez, J.; González-Pérez, J.A.; Turmero, A.; Hernández, M.; Ball, A.S.; González-Vila, F.J.; Enriqueta Arias, M. Wildfire Effects on the Microbial Activity and Diversity in a Mediterranean Forest Soil. *Catena (Amst)* **2017**, 158, 82–88, doi:10.1016/j.catena.2017.06.018.
 26. Wubs, E.R.J.; Van Der Putten, W.H.; Bosch, M.; Bezemer, T.M. Soil Inoculation Steers Restoration of Terrestrial Ecosystems. *Nat Plants* **2016**, 2, doi:10.1038/NPLANTS.2016.107.
 27. Agriculture and Horticulture Development Board - AHDB Testing Soil Health: Measuring CO₂ Respiration Available online: <https://ahdb.org.uk/knowledge-library/soil-respiration> (accessed on 25 April **2025**).
 28. Anderson, J.P.E. Soil Respiration. In *Chemical and Microbiological Properties- Methods of Soil Analysis, Part 2*; Soil Science Society of America, Inc.: Wisconsin, USA, **1982**; pp. 831–871 ISBN 0-89118-072-9.
 29. International Organization for Standardization *ISO 16072:2002 Quality — Laboratory Methods for Determination of Microbial Soil Respiration*; Geneva, **2002**;
 30. Platen, H.; Wirtz, A. Measurement of the Respiration Activity of Soils Using the OxiTop Control Measuring System: Basic Principles and Process Characteristic Quantities **1999**.
 31. *Methods in Soil Biology*; Kandeler, E., Schinner, F., Öhlinger, R., Margesin, R., Eds.; Springer-Verlag: Germany, **1996**; ISBN 3642646336.
 32. de Carvalho Mendes, I. *Standard Operating Procedure for Soil Enzyme Activities – β -Glucosidases, Arylsulfatase, N-Acetyl- β -Glucosaminidase, Dehydrogenase, Phosphomonoesterases*. Rome; FAO: Rome, **2025**;
 33. Pei, J.; Wan, J.; Wang, H.; Fang, C.; Nie, M.; Li, J. Changes in the Activity of Soil Enzymes after Fire. *Geoderma* **2023**, 437, doi:10.1016/j.geoderma.2023.116599.
 34. López-Poma, R.; Bautista, S. Plant Regeneration Functional Groups Modulate the Response to Fire of Soil Enzyme Activities in a Mediterranean Shrubland. *Soil Biol Biochem* **2014**, 79, 5–13, doi:10.1016/j.soilbio.2014.08.016.
 35. Memoli, V.; Santorufo, L.; Santini, G.; Musella, P.; Barile, R.; De Marco, A.; Di Natale, G.; Trifuoggi, M.; Maisto, G. Role of Seasonality and Fire in Regulating the Enzymatic Activities in Soils Covered by Different Vegetation in a Mediterranean Area. *Applied Sciences (Switzerland)* **2021**, 11, doi:10.3390/app11188342.
 36. *Soil Sampling and Methods of Analysis*; Carter, M.R., Gregorich, E.G., Eds.; 2nd ed.; Taylor & Francis Group: Boca Raton, **2008**; ISBN 978-0-8493-3586-0.

Ficha Técnica: Trabalho desenvolvido pelo CoLAB VINES&WINES – Pólo do Dão, com base no levantamento de bibliografia relacionada com o impacto dos incêndios no solo e estratégias de mitigação, com o agradecimento pela colaboração e supervisão científica da Professora Doutora Ruth Pereira da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

