Nota informativo

Gestão da biodiversidade do solo: Um mecanismo intersistemas para a mitigação das alterações climáticas, a recuperação dos ecossistemas e a produtividade agrícola

Compreender as ligações entre a biodiversidade do solo, a gestão das culturas e o desempenho das plantas é essencial para avaliar a capacidade dos solos para mitigar as alterações climáticas e para conceber sistemas de cultivo resilientes. Os projetos BiodivClim - MICROSERVICES[1], GRADCATCH[2], e BIOFAIR[3] identificaram três mecanismos fundamentais para melhorar a gestão da biodiversidade do solo.

Principais conclusões

1. As alterações climáticas na biodiversidade e na função do solo exigem respostas específicas

- A biodiversidade do solo e as funções do ecossistema reagem de forma diferente nas zonas climáticas, com a seca e a aridez a representarem a maior ameaça significativas. Regiões como o Mediterrâneo são especialmente vulneráveis, onde a crescente aridificação pode desestabilizar os ciclos dos nutrientes e do carbono. A antecipação destas alterações é essencial para uma gestão proativa do solo e para promover a resiliência climática. (MICROSERVICES - Europa, GRADCATCH - Europa, Gronelândia)

- A diversidade fúngica desempenha um papel vital na manutenção da estabilidade do ecossistema através da sua contribuição para o ciclo de nutrientes. Uma vez que os fungos são particularmente sensíveis às flutuações de temperatura, a preservação das comunidades fúngicas é fundamental para salvaguardar as funções dos ecossistemas num clima mais quente. (GRADCATCH - Gronelândia, Europa, África do Sul)

2. A precisão na gestão microbiana é essencial para a saúde do solo e a produtividade das culturas

- Mais micróbios nem sempre significam mais rendimento. Nalguns casos, uma maior biomassa microbiana pode limitar o rendimento das culturas através da retenção de nutrientes. Uma gestão eficaz exige que se vá para além da abundância microbiana e focar-se na função microbiana - em especial a que está ligada à eficiência dos nutrientes. (BIOFAIR - Europa)

- A adaptação das práticas do solo às caraterísticas das culturas e às condições locais pode aumentar a produtividade. Por exemplo, a criação de culturas com sistemas radiculares eficientes ou o ajustamento dos aportes de matéria biológica podem apoiar a absorção de nutrientes em contextos ambientais específicos. (BIOFAIR - Europa, GRADCATCH - Gronelândia, Europa, África do Sul)

1. As notas de rodapé podem ser consultadas na ficha de informação.

3. Equilíbrio entre a biodiversidade do solo, os rendimentos e as realidades agrícolas

- Existem compromissos entre as práticas que aumentam a biodiversidade do solo e as que maximizam os rendimentos. Por exemplo, embora a lavoura reduzida a longo prazo[4] promova as comunidades microbianas, pode conduzir a menores rendimentos de trigo em certos contextos. (BIOFAIR - Europa)

- A seleção de caraterísticas microbianas benéficas - como a resistência à seca - pode melhorar o desempenho das culturas, mas as estratégias devem ser ajustadas aos sistemas de cultivo específicos e aos ambientes locais. (MICROSERVICES - Europa)

- O aumento do carbono no solo nem sempre resulta em rendimentos mais elevados. Nalguns sistemas, a competição microbiana por nutrientes pode limitar os benefícios dos solos ricos em carbono, destacando a necessidade de uma gestão do solo adaptada ao contexto. (BIOFAIR - Europa)

Contexto: Porquê centrar-se na biodiversidade do solo?

A biodiversidade do solo influencia e é influenciada pelas alterações climáticas. Por um lado, o aquecimento global aumenta a atividade metabólica dos micróbios do solo, o que, por sua vez, aumenta as emissões de gases com efeito de estufa - criando um ciclo de feedback positivo em que os solos podem acelerar o aquecimento global[5]. Por outro lado, as alterações climáticas afetam as funções microbianas do solo, a biodiversidade e o desempenho dos ecossistemas.

O sequestro de carbono do solo em terras agrícolas e pastagens é cada vez mais reconhecido como uma opção de mitigação fundamental6. As práticas agrícolas sustentáveis, como a agricultura biológica e a lavoura reduzida, são promovidas no âmbito do Pacto Ecológico Europeu como parte do conjunto de ferramentas de mitigação climática.

No entanto, a saúde do solo tem sido historicamente sub-representada nos objetivos políticos[7] e na monitorização e avaliação dos esforços de recuperação. A Estratégia da UE para o Solo para 2030[8] e a proposta de Diretiva sobre Monitorização e Resiliência do Solo representam novos e importantes avanços estratégicos e regulamentares a este respeito.

Principais resultados para a manutenção da biodiversidade e da saúde do solo

Desvendar os efeitos das alterações climáticas na biodiversidade do solo e no funcionamento dos ecossistemas

As respostas do carbono biológico e dos microrganismos do solo às alterações climáticas ainda não estão totalmente esclarecidas[9]. Em particular, o impacto da seca na biodiversidade e nas funções do solo continua por esclarecer. Para colmatar estas lacunas de conhecimento, os projetos **MICROSERVICES** e **GRADCATCH** analisaram as relações entre a biodiversidade do solo, o clima e os padrões de aridez.

- **A diversidade fúngica é essencial para a saúde do solo e a regulação do ecossistema. O GRADCATCH** demonstrou que as funções do solo são moldadas pela aridez através das propriedades do solo e da estrutura da comunidade microbiana, desempenhando a diversidade fúngica um papel fundamental - especialmente nas florestas temperadas da Europa. Um estudo realizado nos Alpes suíços revelou também que os fluxos de CO_2 aumentavam com a altitude até à linha das árvores e diminuíam para além dela, associados à atividade microbiana regida pela temperatura e pela matéria biológica. À medida que as linhas de árvores se deslocam para cima com as alterações climáticas, prevê-se que esta dinâmica se intensifique nos solos de montanha[10].

- **As zonas agroclimáticas**(*ou seja*, as regiões definidas por caraterísticas climáticas que influenciam o potencial agrícola, nomeadamente a duração da estação de crescimento e as regiões de calor acumulado) **influenciam fortemente a biodiversidade e a multifuncionalidade do solo**. O projeto MICROSERVICES concluiu que as condições climáticas futuras poderão alterar significativamente a biodiversidade do solo e os serviços ecossistémicos. Por exemplo, o aumento da aridez nas zonas mediterrânicas poderá reduzir a diversidade microbiana e perturbar o ciclo do carbono e dos nutrientes. Como se prevê que estas zonas se desloquem para norte, é essencial uma mitigação climática precoce e proativa para preservar as funções do solo.

Estudo de caso 1: Como a vida no solo reage às alterações climáticas em todo o mundo

O projeto **GRADCATCH** investigou a forma como as comunidades microbianas do solo respondem às alterações climáticas ao longo de gradientes de temperatura e aridez na Europa, Gronelândia e África do Sul. Estes incluíram transectos norte-sul na Gronelândia e na Europa, um gradiente de altitude nos Alpes e gradientes de aridez que vão do norte de Espanha húmido ao sudeste de Espanha seco, bem como de zonas montanhosas húmidas a desertos quentes na África do Sul.

Na **Europa**, descobriram que os fungos no solo desempenham um papel fundamental na manutenção de processos importantes, como o ciclo de nutrientes, a funcionar de forma eficiente, especialmente nas florestas temperadas. Nos Alpes, **a matéria biológica do solo** influenciou fortemente a atividade microbiana e as emissões de gases com efeito de estufa (GEE). Na **Península Ibérica**, apesar de a composição da comunidade microbiana ter mudado à medida que o clima se tornou mais seco, o solo continuou a funcionar bem, o que sugere que a natureza tem reservas incorporadas - onde diferentes micróbios desempenham funções semelhantes

Na **Gronelândia**, o ambiente era mais frágil. Os solos do extremo norte não resistiram bem à seca. A atividade microbiana aumentou brevemente com a secagem moderada, mas diminuiu acentuadamente durante as secas mais severas, apontando para um ponto de rutura em que o solo deixaria de funcionar adequadamente, não fornecendo completamente o seu papel ecológico no ecossistema.

Nas **terras secas da África do Sul**, os micróbios já estão resistentes ao calor e à secura extremos, mas podem ainda estar em risco. Se a região continuar a ficar mais quente e seca, a sua capacidade para suportar o crescimento das plantas e armazenar carbono poderá diminuir - prejudicando o ciclo global do carbono e a agricultura local.

Estas conclusões sublinham que os solos de todo o mundo reagem de forma muito diferente ao stress climático, dependendo da sua localização e do seu estado atual.

Fig. 1: Núcleo de solo extraído perto de Qaanaaq, Norte da Gronelândia (Crédito da fotografia : Anders Priemé)

Compreender de que forma os processos microbianos subterrâneos afetam a produtividade das plantas

A biodiversidade do solo apoia os serviços ecossistémicos nos agroecossistemas através de interações complexas e não lineares entre muitas espécies. A compreensão da forma como os processos microbianos subterrâneos influenciam a produtividade das plantas e a qualidade nutricional pode ajudar a identificar práticas agrícolas que protejam a saúde do solo e conservem os organismos-chave.

O projeto **BIOFAIR** avaliou as funções do solo, o ciclo de nutrientes, as emissões de gases com efeito de estufa e a diversidade microbiana em vários locais da Europa. Comparou estratégias de gestão do solo e testou cenários climáticos futuros. As principais conclusões incluem:

- **A biodiversidade, por si só, não garante uma maior produtividade**. As caraterísticas funcionais e a complexidade das redes de ciclagem de nutrientes são mais importantes. As funções do solo foram moldadas mais pelas interações entre espécies do que pela presença de grupos microbianos individuais. Isto sublinha a necessidade de indicadores funcionais, e não puramente taxonómicos, da saúde e da biodiversidade do solo.
- **A matéria biológica e a atividade microbiana do solo nem sempre aumentam os rendimentos**. Nas futuras condições climáticas da Europa Central, o aumento da matéria biológica do solo e da biomassa microbiana não melhorou de forma consistente a produtividade das culturas - provavelmente porque os nutrientes foram absorvidos ou imobilizados pelos micróbios. As alterações climáticas na disponibilidade de água podem desestabilizar as comunidades microbianas e reduzir a sua eficiência.
- **Mais micróbios podem significar rendimentos mais baixos se não forem geridos cuidadosamente**. Os campos com comunidades microbianas maiores (por exemplo, de plantio direto ou de aditivos biológicos) tiveram frequentemente menor produção de grãos e menor absorção de nutrientes. Para o evitar, as estratégias de gestão do solo devem ser aperfeiçoadas. As opções incluem a criação de culturas com uma melhor arquitetura radicular para aceder aos nutrientes, ou a utilização de culturas de cobertura, sebes ou agroflorestas para manter relações equilibradas entre plantas e micróbios.

Estudo de caso 2: Como as alterações climáticas afetam o trigo e a vida do solo numa sala de ambiente controlado (CER)

No âmbito do projeto **BIOFAIR**, foram conduzidas duas experiências para (1) avaliar os efeitos das alterações climáticas na produtividade do trigo-mole (2) testar solos provenientes de Práticas Agrícolas Inovadoras em cenários climáticos futuros para avaliar a sua capacidade de conservar taxa de solo sensíveis e manter a qualidade dos alimentos.

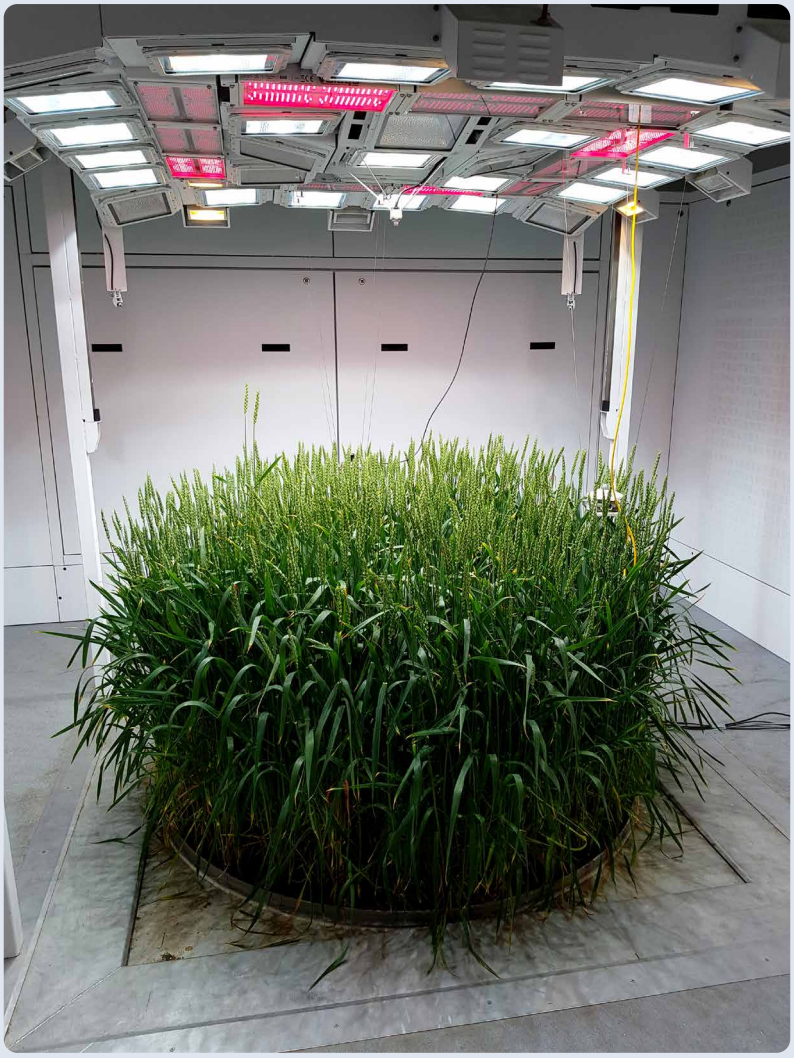

Fig 2: Sala com ambiente controlado: As experiências do Ecotron proporcionam ambientes controlados para estudar os impactos das alterações climáticas nos ecossistemas e nos processos de biodiversidade (Crédito da fotografia: Pierre Delaplace)

Na primeira experiência, testaram a forma como o trigo cresce em condições climáticas futuras - como tempo mais quente, mais dióxido de carbono e precipitação irregular. Embora as plantas tenham inicialmente desenvolvido mais folhas e caules, as suas raízes não cresceram o suficiente para esse crescimento. Isto tornou-as mais fracas durante os períodos de seca no final da estação. Como resultado, produziram menos grãos (rendimentos mais baixos) - mas esses grãos tinham mais proteínas (azoto), sendo por isso melhores para a nutrição.

A segunda experiência comparou o trigo cultivado em solos que tinham sido bem tratados com matéria biológica ou não, sob condições climáticas esperadas para os anos 2013, 2068 e 2085. A curto prazo, ambos os tipos de solo deram melhores colheitas, mas a longo prazo, os solos com elevados fatores de produção (com muita utilização anterior de fertilizantes ou composto) tiveram piores resultados. Curiosamente, alguns sinais sugeriam que as plantas estavam a ativar as defesas naturais para lidar com o stress, mas a sua qualidade nutricional global continuava a baixar.

Em conjunto, estas experiências mostraram que as alterações climáticas podem induzir mudanças adaptativas nas comunidades microbianas. Alguns micróbios podem prosperar, enquanto outros desaparecem - alterando o funcionamento dos solos e a forma como suportam as culturas. A adição de mais carbono biológico ao solo nem sempre melhora os resultados no futuro, o que sugere que talvez seja necessário repensar a forma como gerimos o solo para a produção de alimentos.

Identificar práticas agrícolas que apoiem a saúde dos solos e a segurança alimentar

Há ainda questões em aberto sobre a forma como as práticas agrícolas, como a agricultura biológica ou *regenerativa* - uma abordagem emergente e holística que promove a saúde dos solos e o bem-estar social, mantendo-se adaptável aos contextos locais - contribuem não só para a sustentabilidade, mas também para a mitigação das alterações climáticas e a resiliência a fenómenos extremos como a seca.

Os projetos **BIOFAIR** e **MICROSERVICES** investigaram a forma como os sistemas de gestão afetam a biodiversidade, a função e a produtividade das plantas do solo:

- **Os benefícios para a saúde do solo variam consoante os sistemas e os sítios**. O **BIOFAIR** concluiu que os efeitos de práticas como a lavoura reduzida e a agricultura biológica dependem fortemente das propriedades do solo e das condições climáticas. Por exemplo, a redução da lavoura aumentou a abundância microbiana em solos espanhóis, mas não mostrou qualquer benefício evidente num local alemão.

- **Os micróbios benéficos e as caraterísticas genéticas para a tolerância ao stress abiótico diferem entre os sistemas de cultivo**. O **MICROSERVICES** identificou os principais organismos do solo e genes funcionais que promovem a resistência ao stress. Estes variam consoante os sistemas de cultivo, o que realça a importância de adaptar as práticas aos contextos locais.

- **Os sistemas ricos em carbono nem sempre aumentam a produtividade**. Embora as práticas biodinâmicas e regenerativas tenham melhorado o carbono biológico do solo e a ciclagem de nutrientes, o **BIOFAIR** mostrou que uma maior biomassa microbiana pode também levar à imobilização de nutrientes - reduzindo a disponibilidade de nutrientes para as plantas devido à competição entre micróbios e culturas.

- **Uma maior biodiversidade subterrânea não garante rendimentos mais elevados**. O **BIOFAIR** mostrou que nem a produtividade das plantas nem a absorção de nutrientes melhoraram consistentemente com o aumento da biodiversidade, sugerindo a necessidade de uma compreensão mais profunda da dinâmica solo-planta-micróbio.

A investigação reforça a ideia de que o investimento em solos saudáveis e resistentes ao stress é valioso face às futuras pressões climáticas - mas o sucesso depende de **estratégias de conservação do solo específicas para cada região**, que reflitam **as condições ecológicas locais**.

Estudo de caso 3: Como os métodos agrícolas do passado moldam as respostas dos solos aos desafios futuros

O projeto **MICROSERVICES** investigou se a agricultura biológica - promovida como uma abordagem sustentável no âmbito do Pacto Ecológico Europeu - pode ajudar a construir sistemas agrícolas mais resistentes a fatores de stress climático como a seca. Foi realizada uma simulação de seca à escala do campo no ensaio de campo mais antigo do mundo, comparando sistemas de cultivo biológicos e convencionais, em curso desde 1978.

Investigações anteriores neste local mostraram que os sistemas biológicos apresentam níveis mais elevados de **carbono biológico do solo** e de **biodiversidade**, o que sugere uma maior capacidade de atenuar os efeitos da seca. Esta experiência avaliou as alterações sazonais da **biodiversidade do solo** e dos **indicadores de saúde do solo** em condições de seca.

Descobriram que a seca reduziu a atividade microbiana em todos os sistemas e que os fungos foram mais afetados do que as bactérias. Isto contrariou as suposições anteriores de que os fungos são mais resistentes à seca. Os organismos que vivem perto das raízes das plantas foram os mais afetados, o que pode interferir com processos subterrâneos importantes que ajudam as plantas a crescer.

Curiosamente, apesar de os sistemas biológicos e convencionais terem sido sujeitos a stress devido à seca, os micróbios do solo permaneceram bastante diferentes entre si. Estas diferenças sugerem que os métodos agrícolas do passado moldam a forma como os solos respondem aos desafios futuros. No entanto, ainda não é claro se estas diferenças microbianas ajudarão efetivamente um sistema a recuperar melhor do que o outro a longo prazo.

Fig. 3: Simulação de seca na experiência de campo a longo prazo DOK, Suíça (Crédito da fotografia: Martin Hartmann)

Ligação às fontes

MICROSERVICES
GRADCATCH
BIOFAIR

As publicações científicas utilizadas neste resumo de políticas podem ser consultadas na ficha de informação deste resumo, que pode ser descarregado em:
www.biodiversa.eu/policy-briefs/

Fotografias: Unsplash

Contacto

contacto@biodiversa.eu
www.biodiversa.eu

@Biodiversa.eu

@BiodiversaPlus

Sobre esta nota informativa

Esta Nota Informativa faz parte de uma série que visa informar sobre estratégias práticas e científicas para tornar os solos, as florestas e as paisagens da Europa mais resilientes, com base nos principais resultados dos projetos de investigação BiodivClim financiados pela Biodiversa+.

A série de resumos de políticas Biodiversa+ pode ser consultada em www.biodiversa.eu/policy-briefs/.

Esta publicação foi encomendada e supervisionada por Biodiversa+, e produzida por Marion Ferrat e Julie De Bouville.

Os principais resultados da investigação aqui apresentados foram co-elaborados e validados por investigadores dos projetos de investigação BiodivClim: MICROSERVICES, GRADCATCH e BIOFAIR. Os pontos de vista e opiniões expressos são da responsabilidade dos autores e não refletem necessariamente os da Comissão Europeia ou de todos os parceiros Biodiversa+.

Cofinanciado pela União Europeia ao abrigo do Acordo de Subvenção n.º 642420

MIX Paper from responsible sources FSC® C019064

Produzido em agosto de 2025.