



FORTALECER A GESTÃO SUSTENTÁVEL DO SOLO AGRÍCOLA: INVENTÁRIO, INDICADORES E SERVIÇOS DE ECOSISTEMA

A saúde do solo na Europa representa um desafio devido às pressões humanas e ambientais. O projeto EJP SOIL SERENA reuniu cientistas e partes interessadas para harmonizar conceitos, identificar ameaças e indicadores relevantes para diagnosticar. O conceito de saúde do solo assume hoje particular relevância na reversão da degradação dos solos na Europa.

Nádia Luísa Castanheira e Maria Conceição Gonçalves
Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária



Gestão sustentável do solo

O solo é um recurso essencial e parte vital do ambiente natural, responsável pela produção da maior parte dos alimentos a nível mundial. Os solos sustentam diversos serviços de ecossistema fundamentais, entre os quais a produção agrícola, a regulação da água e do clima, e a preservação da biodiversidade. O aumento da pressão sobre os recursos do solo tem reforçado a necessidade de uma gestão sustentável, baseada em dados científicos atualizados que permitam compreender o seu estado e funcionamento. Reconhecendo esta importância, a Parceria Global para os Solos (*Global Soil Partnership* – GSP/FAO¹) tem atuado na criação de mecanismos globais de coordenação e partilha de conhecimento sobre solos, bem como incentiva a criação de sistemas nacionais de informação sobre este recurso fundamental.

No contexto europeu, a monitorização do estado dos solos é igualmente essencial para promover uma gestão territorial sustentável e cumprir metas ambientais estabelecidas em políticas estratégicas. Iniciativas como o Observatório Europeu dos Solos (*European Soil Observatory* – EUSO²) e a Missão “*Soil Deal for Europe*”, no âmbito do programa *Horizon Europe*, têm como objetivo promover a criação de redes de conhecimento sobre a saúde dos solos, recolher e harmonizar dados sobre solos europeus, promover a investigação e a inovação, entre outras ações. Estes programas e iniciativas reforçam a importância de utilizar indicadores científicos como base para uma governação ambiental assente em evidências, permitindo igualmente avaliar o progresso em direção à meta definida pela Comissão Europeia (2021) de alcançar 75% de solos saudáveis até 2030.

Atualmente, o conceito de saúde do solo é valioso para reverter a degradação dos solos na Europa. Para melhorar essa saúde e mitigar a degradação, tanto a nível local como nacional e europeu,

é necessária uma abordagem comum, baseada na avaliação do grau e da extensão da degradação dos solos. Contudo, para avaliar o estado de um solo, é indispensável definir e quantificar o seu nível de degradação, bem como identificar as ameaças a que está sujeito e os serviços de ecossistema que presta. Assim, torna-se essencial dispor de indicadores de saúde do solo, entendidos como propriedades ou funções mensuráveis que permitem avaliar até que ponto os solos conseguem cumprir os serviços de ecossistema que deles se esperam.

Avaliar as ameaças ou os serviços de ecossistema do solo?

A resposta é: ambos; uma vez que se complementam para compreender e diagnosticar o estado de um solo.

Entre 2020 e 2024, o projeto EJP SOIL SERENA dedicou-se ao estudo e à avaliação das ameaças e dos serviços de ecossistema do solo. Numa colaboração entre cientistas e partes interessadas (*stakeholders*) de 16 países europeus (ver Figura 1), o projeto procurou fortalecer o conhecimento sobre a qualidade

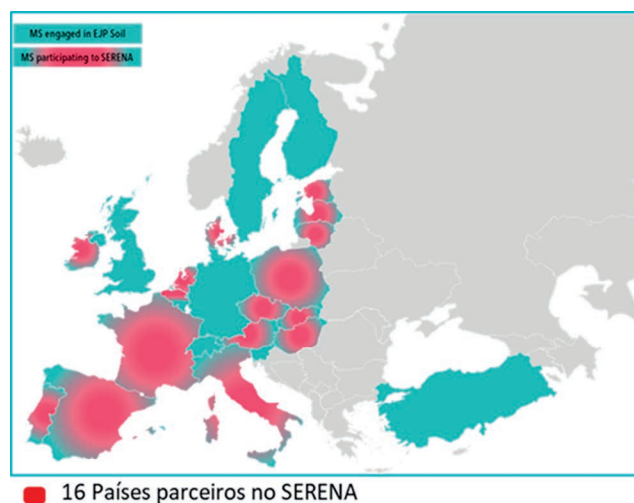


Figura 1 – Países europeus parceiros no EJP SOIL SERENA.

¹ <https://www.fao.org/global-soil-partnership/en/> – Parceria Global para os Solos (GSP), estabelecida em dezembro de 2012 pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), atua como um mecanismo de cooperação internacional, reunindo diversas partes interessadas para fomentar a coordenação, a troca de informação científica, a implementação de práticas de gestão sustentável do solo e contribuir para a discussão e formulação de políticas relacionadas com os solos.

² <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/euso> – EUSO é uma plataforma europeia, que iniciou a sua atividade em 2021, que reúne dados, conhecimento e colaboração para proteger e restaurar os solos. Tem a missão de apoiar as políticas da EU e contribuir para os objetivos do Pacto Ecológico Europeu.

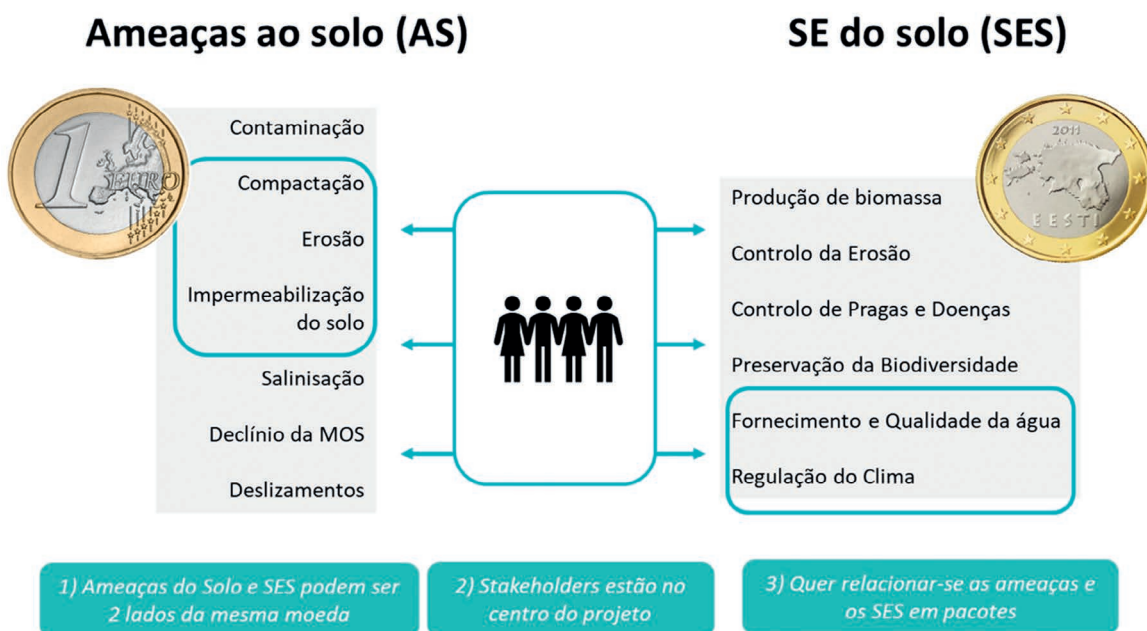


Figura 2 – EJP SOIL SERENA e a sua filosofia que assenta em três pilares (1 a 3 na parte inferior do esquema).

e a saúde do solo, bem como sobre as ameaças que o afetam e os indicadores. No âmbito deste projeto, os serviços de ecossistema do solo (SES) são definidos como o conjunto de serviços relacionados com o solo, diretamente controlados ou fornecidos pelas suas propriedades químicas, físicas e biológicas, bem como pelos respetivos processos e funções^[6]. As ameaças ao solo (AS) correspondem a processos que podem degradar algumas das funções e serviços prestados pelos solos^[6].

No EJP SOIL SERENA foi usada uma abordagem integrativa e participativa em várias fases do projeto, seguindo a filosofia de que algumas ameaças ao solo e alguns serviços de ecossistema relacionados com o solo podem ser entendidos como duas faces da mesma moeda e, então, avaliados por alguns indicadores comuns^[1], conforme a Figura 2. Por exemplo, a erosão do solo (uma AS) pode ser avaliada em conjunto com o controlo da erosão do solo (um SES).

Inventariar para conhecer

No início do projeto, foi muito importante inventariar e recolher a informação sobre os solos nos vários países europeus, incluindo os estudos existentes, os indicadores utilizados, a sua acessibilidade, bem como os mapas existentes.

Foram consideradas as onze ameaças ao solo (de acordo com a FAO e a UE) e os sete serviços de ecossistema associados ao solo, apresentados na Figura 3. Este inventário revelou que nenhum dos países participantes reportou informação, à escala nacional, para todas as ameaças ao solo consideradas no projeto e os respetivos serviços de ecossistema. A erosão do solo foi a ameaça mais frequentemente estudada à escala nacional nos vários países participantes. Nenhum dos sete serviços de ecossistema foi estudado à escala nacional em todos os países. Os serviços mais frequentemente avaliados foram a produção primária e de biomassa e a regulação dos gases com efeito de estufa e do clima, incluindo o sequestro de carbono. Neste inventário, só alguns países forneceram uma breve descrição de uma avaliação a nível nacional. Verificou-se que as abordagens de modelação foram o método predominante utilizado, sobretudo para avaliar setores sociais e, em particular, os setores económicos. As avaliações feitas nos vários países evidenciaram grande variabilidade de métodos, sobretudo no que respeita aos indicadores utilizados e aos dados necessários. As avaliações referem-se a diferentes períodos temporais e tipos de culturas e, em alguns casos, os resultados foram classificados em categorias ou clas-

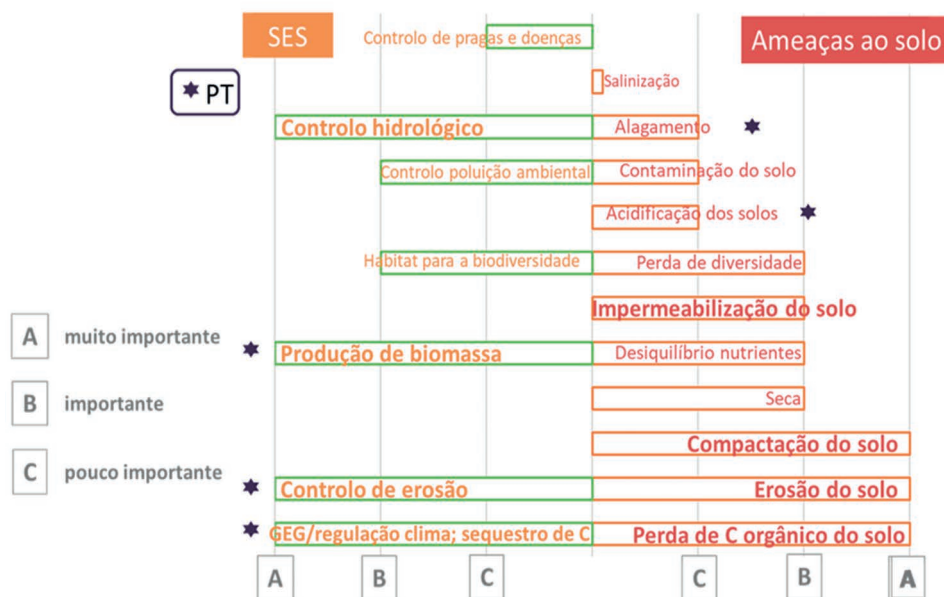


Figura 3 – Priorização das ameaças (AS) e dos serviços de ecossistema do solo (SES) realizada pelos países participantes no projeto EJP SOIL SERENA. Classificados de A a C, de muito importante a pouco importante. A seleção para Portugal está representada com *

ses. No entanto, os critérios de classificação variaram entre países, o que significa que o mesmo indicador pode resultar em interpretações diferentes.

Para considerar os desafios de solo específicos de cada região e o respetivo contexto pedoclimático, foi necessário definir prioridades e selecionar as principais ameaças ao solo e os serviços de ecossistema do solo de interesse^[2]. Para o fazer, cada país participante baseou-se, principalmente, na importância da ameaça para o solo ou do SES no contexto nacional, relevância para os solos agrícolas, disponibilidade de dados, ausência de sobreposição da ameaça para o solo/SES com outra AS/SES, e ameaça para o solo/SES não ser demasiado complexa para um indicador. O resultado deste processo de priorização é apresentado na Figura 3, onde se observa que a AS “perda de carbono orgânico do solo” e o SES “carbono orgânico do solo e regulação dos gases com efeito de estufa e do clima/sequestro de carbono” receberam a pontuação de prioridade mais elevada. No final deste processo, foram selecionadas quatro AS e quatro SES para serem avaliados nos vários países participantes. Em Portugal, os serviços de ecossistema considerados prioritários foram a produção de biomassa, o controlo de erosão e a regulação climática. Esta

escolha justifica-se pelo contexto pedoclimático e agrícola nacional, em que os solos apresentam baixo teor de matéria orgânica e pela necessidade de controlar a erosão do solo associada a práticas agrícolas que envolvem mobilização do solo e rega, combinadas com eventos de precipitação intensa característicos do clima Mediterrânico. Outro critério considerado foi a disponibilidade de dados à escala nacional e o facto de estarem publicamente acessíveis. No processo de definir prioridades, tornou-se clara a necessidade de definições comuns harmonizadas para todas as ameaças ao solo e SES. Um intenso processo de harmonização entre os parceiros do projeto resultou em definições científicas e outras simplificadas em linguagem não científica que foram desenvolvidas com base em literatura científica e resultado de discussão interna no projeto. O entendimento consensual destas definições foi analisado pela comunidade das ciências do solo e pelos *stakeholders* não ligados à investigação, com recurso a um questionário realizado à escala europeia^[5]. O questionário foi enviado a 27 países da UE. Receberam-se respostas de 19 países, em que quase dois terços de todas as respostas vieram de quatro países (França, Espanha, Áustria e Alemanha).

Um total de 398 participantes iniciou o questionário, dos quais 184 (46,2%) completaram totalmente a tarefa e foram considerados 264 (66,3%) participantes com contribuições válidas. A grande maioria dos participantes tinha formação académica (mais de 97%), o que se refletiu na identidade dos stakeholders, com 69,6% de académicos ou investigadores. Os agricultores e consultores representaram 5,3% e 9,5%, respetivamente, enquanto os decisores políticos e representantes da indústria contribuíram com menos de 3% cada. A convicção de que é importante ter definições formais na gestão do solo foi elevada, com uma pontuação média de 6,5.

A concordância geral com as definições fornecidas foi elevada. As definições científicas de ameaças ao solo e serviços de ecossistema do solo obtiveram pontuações médias e níveis de concordância superiores (Figura 4). Houve maior concordância nas definições científicas das AS, com oito das onze a ultrapassarem 90% de concordância e nove a registarem pontuação média superior a 6. Em contraste, os indicadores dos SES foram considerados menos adequados, refletindo menor concordância.

Como classificar e escolher os indicadores de solo?

Um conjunto de indicadores simples e genéricos seriam muito úteis para as políticas e governação, e seria a situação ideal. Mas para refletir a complexidade do papel dos solos nos ecossistemas é necessária a utilização de indicadores diversos, ajustados ao contexto e a diferentes níveis de complexidade. Ao analisar a literatura científica, os projetos anteriores da UE, os documentos da FAO e os tratados internacionais, verifica-se que as ameaças ao solo e os serviços de ecossistema do solo são frequentemente avaliados com recurso a um grande número de indicadores diferentes, o que dificulta a seleção dos mais adequados^[3].

O EJP SOIL SERENA desenvolveu um modelo para pontuar e classificar os indicadores selecionados para cada AS e SES, com base em múltiplos critérios^[4]. Para tal, identificaram-se os principais critérios utilizados na seleção e avaliação da adequação dos indicadores através de análise de literatura europeia e científica. Foram selecionados um total de sete critérios divididos em três famílias principais:

1. Solidez científica – Avalia se é adequada a representação do objeto em estudo com base em três

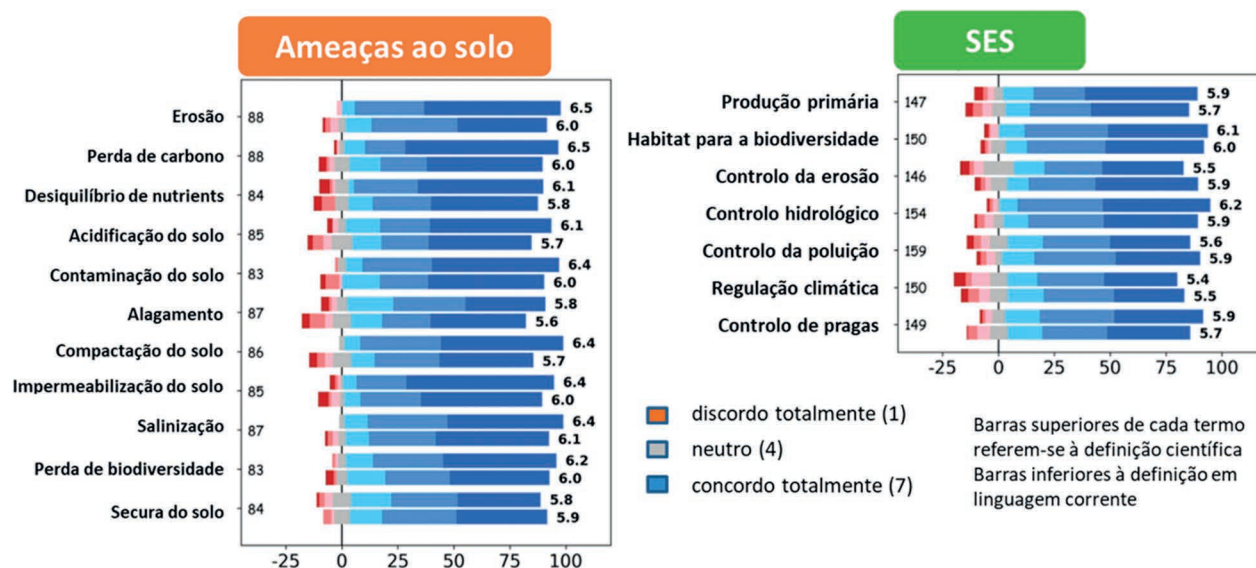


Figura 4 – Nível de concordância dado pelos stakeholders às definições desenvolvidas no projeto EJP SOIL SERENA. Os números à esquerda indicam o tamanho da amostra e os números a negrito à direita das barras indicam a pontuação média. O tamanho da amostra varia entre 63 e 263, pois o inquérito possuía quantidade diferente de perguntas por secção e alocação aleatória e houve perguntas sem resposta. In Weninger et al., 2024^[5].

critérios complementares: i) adequação ao objetivo, ii) interpretabilidade, e iii) sensibilidade a mudanças.

2. Disponibilidade de dados – Avalia a viabilidade de utilizar um determinado indicador com base em dois critérios: iv) mensurabilidade, considerando a possibilidade de medir quando disponível, e v) escalabilidade, em particular para a escala europeia.
3. Capacidade de transmitir informações – Estima a adequação do indicador aos objetivos que os *stakeholders* esperam da sua aplicação. Isto é avaliado através de dois critérios: vi) intuitividade ou a facilidade de compreensão do indicador, e vii) relevância política, relacionada com a sua integração nas políticas ambientais atuais.

Para pontuar os critérios usaram-se níveis entre 0 (pontuação mínima) e 12 (pontuação máxima) para cada indicador, de modo a atribuir o mesmo peso a todos os critérios. Para reduzir a subjetividade, realizaram-se discussões entre os avaliadores de cada AT e SES, para harmonizar interpretações e minimizar inconsistências nas classificações individuais. As pontuações dos indicadores foram representadas em gráficos de radar para melhor identificar as características “fracas” e “fortes” de cada indicador. Na Figura 5 está um exemplo da aplicação desta metodologia aos sete indicadores utilizados para avaliar erosão do solo nos países participantes do EJP SOIL SERENA. Verifica-se que os indicadores “erosão em ravina” e a “perda de solo na colheita da cultura” obtiveram pontuações mais baixas nos critérios considerados essenciais para a seleção, não sendo, por isso, suficientemente eficazes para caracterizar a erosão do solo à escala nacional.

Foi proposta uma estratégia de 3 passos para a avaliação de um SES ou uma AS, que realiza várias iterações^[4]. No Passo 1) inventariam-se e identificam-se os indicadores, Passo 2) usar os sete critérios para pontuar a eficiência e Passo 3) selecionar entre dois tipos de indicadores: o “pragmático”, adequado à harmonização à escala europeia, e o “ideal”, mais completo para avaliar ameaças ou SES. Uma

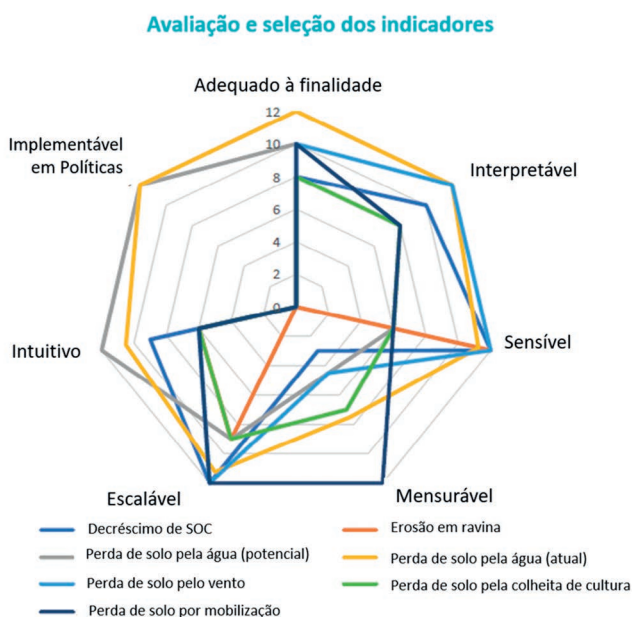


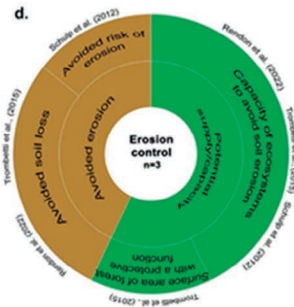
Figura 5 – Gráfico radial que resume os resultados da classificação dos sete indicadores de erosão do solo, usando os critérios definidos no âmbito do EJP SOIL SERENA. In Montagne et al., 2023.

ameaça ao solo deve ser entendida como um processo de mudança, pelo que o indicador relevante deve refletir essa variação (por exemplo, aumento ou diminuição do carbono orgânico do solo, e não apenas a sua concentração). Na Figura 6 encontra-se o exemplo do SES controlo da erosão.

Avaliar de forma harmonizada para proteger melhor o solo

A comparabilidade das avaliações das ameaças e dos serviços de ecossistema do solo entre os países europeus participantes continua limitada devido a metodologias distintas e a lacunas de informação. O EJP SOIL SERENA caminhou no sentido da harmonização dos critérios de seleção de indicadores, da criação de bases de dados partilhadas, da uniformização das metodologias de avaliação e do reforço da comunicação com os *stakeholders*. Fortalecer a monitorização do solo, incluindo parâmetros biológicos, e a validação dos resultados com os *stakeholders* aumentam a fiabilidade das avaliações. Os indicadores de solo são ferramentas essenciais para transformar observações complexas em informação útil para a tomada de decisão.

Passo 1: Inventariar e classificar indicadores comuns



Passo 2: Pontuar a eficiência do indicador



Passo 3: Selecionar e definir indicadores para harmonização

Type	Indicator
Ideal	Total amount of soil not eroded (t or Mg ha ⁻¹ yr ⁻¹)
Pragmatic or realistic	Amount of soil not eroded (t or Mg ha ⁻¹ yr ⁻¹)

Exemplo

Figura 6 – Estratégia de 3 passos para SES controlo da erosão. In Montagne et al., 2023.

Os resultados obtidos sustentam a necessidade de uma harmonização metodológica e terminológica e contribuem para o desenvolvimento de futuras políticas europeias de monitorização e resiliência do solo. Uma comunicação clara e acessível é indispensável para transformar o conhecimento científico em ações concretas de gestão sustentável do solo na Europa. 🌱

Agradecimentos

Os resultados apresentados foram obtidos no âmbito do projeto SERENA (Soil Ecosystem seRvices and soil threats modElling aNd mApping) pertencente ao EJP SOIL, financiado pelo programa de pesquisa e inovação H2020 da União Europeia ao abrigo do acordo n.º 862695.



Bibliografia

[1] Cousin, I.; Ungaro, F.; Bispo, A.; Altobelli, F.; Asins-Velis, S.; Assennato, F.; Astover, A.; Ay, J.-S.; Besnault, A.; Bondi, G.; Borůvka, L.; Buttafuoco, G.; Calzolari, C.; Castanheira, N.; Coblinski, J.; Cornu, S.; van den Elsen, E.; Fahy, A.; Feiza, V.; ... Weninger, T. (2024). Synthesis of SERENA outcomes. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14031091>.

[2] Foldal, C.B.; Oorts, K. (2023). D 2.2 SERENA Soil threats and soil ecosystem services of interest in SERENA. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10389897>.

[3] Klimkowicz-Pawlas, A.; Jandl, R.; Altobelli, F.; Kuk, L.; Cousin, I.; Raudner, A.; Ay, J.-S.; Asins, S.; Weninger, T.; Ramler, D.; Martelli, A. (2024). Deliverable D4.1 Soil-related policy analysis. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14007219>.

[4] Montagne, D.; Buttafuoco, G.; Scammacca, O.; Calzolari, C.; Pindral, S.; Foldal, C.; Laborci, A.; Kuk, L.; Antón, R.; Medina-Roldán, E.; Stefanova, M.; Oorts, K.; Klimkowicz-Pawlas, A.; Niedźwiecki, J. & Borůvka, L. (2024). Deliverable 2.3.1 Towards a cookbook to evaluate soil threats, soil-based ecosystem services and their associated bundles over scenarios of changes: a first identification of indicators for harmonisation at EU level. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13946042>.

[5] Weninger, T.; Ramler, D.; Bondi, G.; Asins, S.; O’Sullivan, L.; Assennato, F.; Astover, A.; Bispo, A.; Boruvka, L.; Buttafuoco, G.; Calzolari, C. Castanheira, N., Cousin, I.; van den Elsen, E.; Foldal, C.; Hessel, R.; Kadziulienė, Z.; Kuuk, L.; Molina, M.J.; Montagne, D.; Oorts, K.; Pindral, S.; Ungaro, F.; Klimkowicz-Pawlas, A. (2024). Do we speak one language on the way to sustainable soil management in Europe? A terminology check via an EU-wide survey. *European Journal of Soil Science*, **75**(2):e13476. <https://doi.org/10.1111/ejss.13476>.

[6] Van den Elsen, E.; Anton-Sobejano, R.; Cousin, I.; Fuchs, L.; de Haan, J.; Teuling, K.; Klimkowicz-Pawlas, A.; Niedźwiecki, J.; Pindral, S.; Montagne, D.; Scammacca, O. & Weninger, T. (2024). A framework to assess soil threats, soil functions and soil-based ecosystem services. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14056696>.