

**POLICY
BRIEF
2026**

SCIENCE4POLICY

CONCURSO DE ESTUDOS DE CIÊNCIA PARA AS POLÍTICAS PÚBLICAS

Unidades Homogéneas de gestão de Solos

Cláudia M. Viana, Eduardo Gomes, Paulo Pereira & Jorge Rocha

Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

Sumário executivo

A Diretiva de Monitorização do Solo da União Europeia (UE) visa promover práticas de gestão sustentável do solo nos Estados-Membros. Esta directiva propõe o estabelecimento de Unidades de Solo (US) dentro de Distritos de Solo designados para uma monitorização e governação eficazes do solo. Abordar a heterogeneidade do solo e do uso do solo exige metodologias sofisticadas, incluindo técnicas estatísticas avançadas e modelação integrativa. A baixa qualidade da informação a nível nacional afecta os resultados. A falta de delegação de poderes na distribuição territorial limita a monitorização da qualidade do solo e a aplicação de políticas. A melhor organização dos distritos de solo corresponde à criação de 14 unidades, geradas a partir da classificação NUTS II, incluindo sete variáveis de qualidade do solo, utilizando dados climatológicos, de uso do solo, de elementos do solo e litológicos para mapear unidades de solo verdadeiramente multifuncionais. É necessário garantir a fiabilidade e a harmonização dos procedimentos de recolha de amostras, dos métodos analíticos e da recolha de dados num sistema nacional de informação.

Recomendações

- Alargamento da rede de monitorização;
- Estabelecimento de novos mapas com informação de base adaptada à realidade nacional;
- Redefinição das Unidades de Solo com base nesta nova informação;
- Submissão da proposta das futuras Unidades de Solo.

Destinatário(s) do policy brief

Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR).

Introdução e Enquadramento do Problema

A rápida degradação dos solos constitui um risco para a segurança alimentar e hídrica, para a biodiversidade e para o cumprimento de metas climáticas. A proposta de diretiva europeia sobre monitorização e resiliência do solo propõe a criação de Distritos de Solo como unidades territoriais de referência, assegurando monitorização regular e

comparável entre os Estados-Membros.

Em Portugal continental, a diversidade de tipologias de solo e a complexidade do mosaico de usos do solo dificultam a criação de unidades homogéneas. Além disso, os pontos amostrais históricos (e.g., LUCAS) são considerados insuficientes para uma

monitorização nacional robusta. Assim, é necessária uma abordagem metodológica que permita (i) delimitar Distritos/Unidades de Solo com base em critérios biofísicos e

administrativos e (ii) otimizar a seleção de pontos amostrais, considerando restrições de custo.

Análise / Principais Resultados

Abordar a heterogeneidade do solo e do uso do solo exige metodologias sofisticadas, incluindo técnicas estatísticas avançadas e modelação integrativa.

Os algoritmos de aprendizagem automática, as análises geoestatísticas e os sistemas de informação geográfica surgem como ferramentas cruciais para este propósito. A metodologia proposta envolve a avaliação da qualidade do solo utilizando dados climatológicos, de uso do solo, de elementos do solo e litológicos para mapear unidades de solo verdadeiramente multifuncionais.

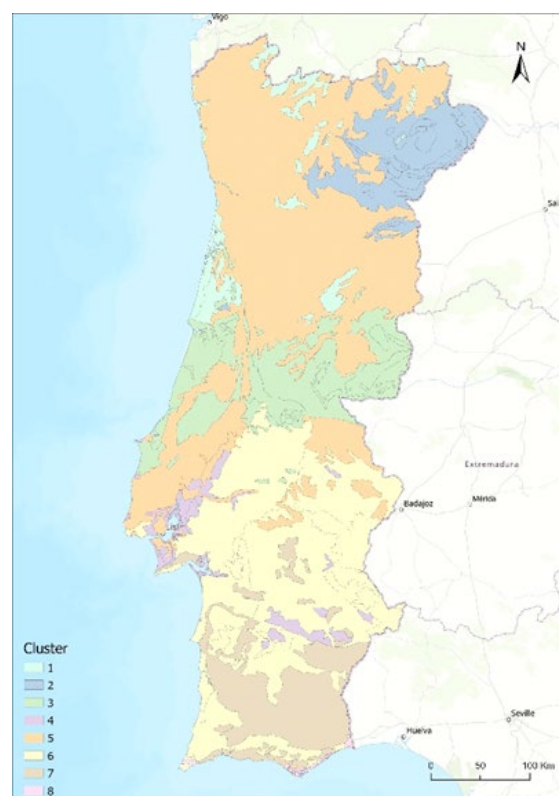
Para avaliar a capacidade dos diferentes paradigmas de agrupamento para delinear Distritos de Solo espacialmente coerentes em condições ambientais heterogéneas, foram selecionados quatro algoritmos complementares, para além daquele sugerido pela UE (i.e., Bethel).

Estes métodos representam famílias distintas de abordagens de clustering: particionamento (k-means), hierárquico (AHC) e fuzzy (FCM), juntamente com um método baseado na proximidade de Floresta Aleatória. Cada classe de algoritmos captura diferentes tipos de estrutura em dados ambientais multidimensionais. O uso desta diversidade de técnicas permite uma comparação sistemática de como diferentes suposições sobre semelhança, distância, forma do cluster e relações de vizinhança afetam as delimitações de solo resultantes.

- O algoritmo de Bethel é útil para estimar o número necessário de amostras e o número de distritos, mas não produz diretamente uma delimitação espacial dos distritos.
- No Random Forest + MDS + K-means, vários testes resultaram em agrupamentos excessivamente generalizados (por vezes com apenas um cluster visível), limitando a utilidade para delimitação.

- O Agglomerative Hierarchical Clustering (AHC), sobretudo quando aplicado à Carta de Solos da Agência Portuguesa do Ambiente (APA), apresentou 8 clusters visíveis e delimitações territoriais plausíveis, com continuidade especial (Figura 1).

Figura 1 – Resultados do Agglomerative Hierarchical Clustering; com a Carta de Solos da APA

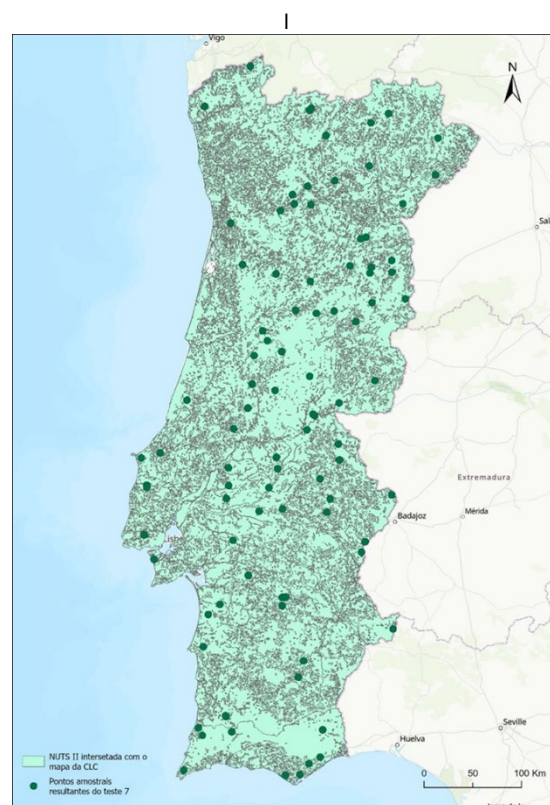


- O Fuzzy C-means (FCM) mostrou bom desempenho ao gerar divisões territoriais informativas sem fragmentar excessivamente o território; a combinação NUTS II + Unidades de Paisagem evidenciou um padrão territorial interessante (Figura 2).
- A solução mais promissora para dimensionamento amostral (Bethel) combinou NUTS II + CLC simplificado e variáveis: densidade aparente 0–10 cm, Cu, N, carbono orgânico, P e pH (Figura 3).

Figura 2 – Resultados do Fuzzy C-means com NUTS II e Unidades de Paisagem



Figura 3 – Resultado do teste com o algoritmo de Bethel



Opções de Política e Recomendações

É essencial criar um sistema de monitoramento unificado a nível nacional, com indicadores padronizados para a Estratégia Europeia para o Solo. Isso favorece a implementação, acompanhamento e avaliação eficaz das ações e políticas relacionadas ao solo, ao longo de diferentes níveis, do nacional ao regional e local. Dessa forma, diferentes métodos avançados poderão ser testados e comparados.

Para cumprir as obrigações relativas à monitorização da saúde do solo, incluindo a recolha de amostras, as autoridades competentes dos Estados-Membros podem precisar exigir o direito de acesso às propriedades dos proprietários, de acordo com as regras e procedimentos nacionais. Além disso, os Estados-Membros podem requerer que os proprietários adotem medidas para gerir o solo de maneira sustentável.

Os dados obtidos das análises de solo feitos periodicamente em parcelas agrícolas, tanto no regime de produção integrada quanto na produção biológica, que recebem apoio através

da Política Agrícola Comum, podem ajudar a monitorar o estado da saúde do solo nas áreas agrícolas do país, formando um observatório do solo. Para isso, é fundamental assegurar a confiabilidade e a padronização dos procedimentos de recolha de amostras, dos métodos analíticos e da coleta de dados em um sistema nacional de informação. Essas informações, juntamente com os dados sobre as práticas culturais em cada parcela, que os agricultores precisam registar, permitiriam avaliar como essas práticas influenciam a saúde do solo.

O objetivo principal é desenvolver um sistema de informação que registre os resultados das amostras de solo recolhidas por diversos utilizadores, visando uma gestão agrícola eficaz. Este sistema deve facilitar a aplicação, monitorização e avaliação das ações de gestão tanto a nível da propriedade rural quanto na política de desenvolvimento rural. Além disso, procura-se criar um modelo de governança que incentive a participação e a colaboração entre os atores do desenvolvimento rural.



Opção A — Modelo mínimo (conservador): Delimitação baseada em unidades administrativas amplas (e.g., NUTS), com menor complexidade de implementação, mas menor homogeneidade pedológica.

Opção B — Modelo técnico-científico (recomendado): Delimitação de Unidades/Distritos de Solo com base em clustering (AHC/FCM) sobre variáveis integradas (solos, uso do solo, clima), preservando contiguidade e reduzindo fragmentação.

Opção C — Modelo híbrido operacional: Delimitação por AHC/FCM e dimensionamento de pontos por Bethel, permitindo equilibrar robustez científica, operacionalidade e custos.

Recomendações prioritárias:

- Instituir, a curto prazo, uma proposta operacional de Unidades/Distritos de Solo para Portugal continental, suportada por métodos de clustering (AHC/FCM), como base para a rede nacional de monitorização.
- Adotar uma abordagem híbrida: (i) delimitação espacial por AHC/FCM; (ii) dimensionamento de pontos amostrais por distrito usando o algoritmo de Bethel, garantindo eficiência de custos e cobertura representativa.
- Priorizar a integração sistemática de dados LUCAS (propriedades do solo e poluentes), clima e uso do solo (CLC) em workflows SIG reprodutíveis, assegurando harmonização e atualizações periódicas.

Conclusão

Para cumprir as obrigações de monitorização da saúde do solo, relacionadas com a recolha de amostras, as autoridades dos Estados-Membros podem solicitar aos proprietários acesso às suas propriedades, conforme as regras e procedimentos nacionais. Além disso, podem exigir que os proprietários adotem medidas para uma gestão sustentável do solo. Os dados das análises de solo feitas periodicamente em parcelas agrícolas, em modos de produção integrada e biológica, apoiadas pela Política Agrícola Comum, podem ajudar a monitorar o estado de saúde do solo nas áreas agrícolas do país, funcionando como um observatório do solo.

Para atingir esse objetivo, é fundamental assegurar a confiabilidade e a harmonização nos procedimentos de recolha de amostras, métodos analíticos e recolha de dados num sistema nacional de informação. Esses dados,

aliados às informações sobre as práticas agrícolas em cada parcela — obrigatoriamente registadas pelos agricultores — permitiriam avaliar o impacto dessas práticas na saúde do solo.

A criação de Distritos/Unidades de Solo é fundamental para operacionalizar a futura legislação europeia e ampliar a capacidade nacional de monitorização do solo. Os resultados desta tese indicam que metodologias de clustering hierárquico e fuzzy são especialmente adequadas para estabelecer delimitações territoriais úteis, devendo ser complementadas por métodos como Bethel para otimizar o desenho da amostra. A implementação deve incluir validação em campo, uma governança bem definida e atualizações periódicas das bases de dados.

Referências

- Gou, X., Johar, M. G. M., & Tham, J. (2025). Network intrusion monitoring based on margin distance pruning and RF algorithm. *Results in Engineering*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104769>
- Maleki, S., Karimi, A., Mousavi, A., Kerry, R., & Taghizadeh-Mehrjardi, R. (2023). Delineation of Soil Management Zone Maps at the Regional Scale Using Machine learning. *Agronomy*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/agronomy13020445>
- Oyafuso, Z. S., Barnett, L. A. K., & Kotwicki, S. (2021). Incorporating spatiotemporal variability in multispecies survey design optimization addresses trade-offs in uncertainty. *ICES Journal of Marine Science*. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsa>
- Shashikumar, B. N., Kumar, S., George, K. J., & Singh, A. K. (2023). Soil variability mapping and delineation of site-specific management zones using fuzzy clustering analysis in a Mid-Himalayan Watershed,

India. Environment, Development and Sustainability, 25(8), 8539–8559. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02411-6>

Venugopal, A., Kannan, B., Ganapati, P. S., Krishnan, A., Manikandan, K., Mathiyazhagan, V., & Jayaraman, S. (2024). Nutrient Variability Mapping and Demarcating Management Zones by Employing Fuzzy Clustering in Southern Coastal Region of Tamil Nadu, India. Sustainability (Switzerland), 16(5). <https://doi.org/10.3390/su16052095>

Zhang, Y., Wang, B., Chen, Y., Zhong, Z., & Du, Y. (2024). An adaptive density clustering algorithm based on

measurement parameters and representative points. 2024 4th International Conference on Artificial Intelligence, Robotics, and Communication, ICAIRC 2024, 679–684. <https://doi.org/10.1109/ICAIRC64177.2024.10900279>

COMO CITAR ESTE DOCUMENTO

Viana, C. M., Gomes, E., Pereira P., & Rocha J. (2026). *Unidades Homogêneas de gestão de Solos*. S4P-24 Policy Brief 6579/2024. PLANAPP – Centro de Planeamento e de Avaliação de Políticas Públicas.

CONTACTO

science4policy@planapp.gov.pt

COPYRIGHT

© PLANAPP, 2026



[Ciência para as políticas públicas](#)



[PLANAPP](#)



[Newsletter](#)



[PLANAPP](#)



[@planapp](#)



[PLANAPP podcasts](#)



Este *policy brief* foi desenvolvido no âmbito do Science4Policy 2024 (S4P-24): Concurso de Estudos de Ciência para as Políticas Públicas, uma iniciativa do Centro de Planeamento e de Avaliação de Políticas Públicas (PLANAPP), em parceria com a Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), financiada pelo Plano de Recuperação e Resiliência de Portugal. Linha temática S4P-24/21: Transição climática e sustentabilidade dos recursos / Solo: Elementos para uma estratégia para o solo – Como definir “soil districts”?