

O PAPEL DOS MICRORGANISMOS NA CONSERVAÇÃO DE SOLOS: INTERFACES ENTRE ECOLOGIA MICROBIANA E EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Cristiano Lucas Soma¹
Sorta Leonardo Macuácuá²
Artur Tavares Novele³
Elcimar Simão Martins⁴

RESUMO

Os solos abrigam uma das maiores biodiversidades do planeta, com bilhões de células microbianas por grama de solo saudável, responsáveis por processos essenciais como ciclagem de nutrientes, formação de agregados, sequestro de carbono e proteção vegetal. A degradação causada por práticas agrícolas intensivas, erosão e mudanças climáticas compromete a diversidade e a funcionalidade do microbioma, reduzindo a resiliência e a produtividade dos agroecossistemas. Este trabalho analisa o papel dos microrganismos na conservação de solos, articulando conhecimentos da ecologia microbiana com as interfaces da educação ambiental. Por meio de revisão bibliográfica de publicações priorizadas entre 2020 e 2026, foram identificadas estratégias de manejo conservacionista que elevam a biomassa e a diversidade microbiana, mecanismos de estabilização do solo (glomalina, exopolissacarídeos, crostas biológicas e precipitação de carbonato de cálcio) e o potencial da educação ambiental como ferramenta de valorização da biodiversidade invisível. Os resultados evidenciam que a restauração de microbiomas nativos e a formação de cidadãos e produtores conscientes constituem caminhos complementares para a sustentabilidade. Conclui-se que a integração entre pesquisa científica, práticas conservacionistas e processos educativos é fundamental para a conservação dos solos e a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Microbioma do solo; agricultura de conservação; resiliência; sustentabilidade; resiliência e sustentabilidade.

Universidade Federal do ABC, Pós-graduação em Biotecnociência, Instituto Centro de Ciências Naturais e Humanas, Discente, ,
Discente, c.soma@ufabc.edu.br¹
UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERCIONAL DA LUSOFONIA AFRO-BRASILEIRA, INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA
NATUREZA, Discente, sortaleo@gmail.com²
UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERCIONAL DA LUSOFONIA AFRO-BRASILEIRA, INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA
NATUREZA, Discente, arturtavares819@gmail.com³
UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERCIONAL DA LUSOFONIA AFRO-BRASILEIRA, INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA
NATUREZA, Docente, elcimar@unilab.edu.br⁴

INTRODUÇÃO

Os solos abrigam uma das frações mais complexas e concentradas da biodiversidade terrestre. Em uma única grama de solo saudável, estima-se a presença de até uma centena de bilhões de células microbianas, integrando uma vasta rede taxonômica constituída por bactérias, fungos, arqueias, protistas e vírus (Philippot et al., 2023). Essa assembleia biológica, conhecida como microbioma do solo, atua como o motor biológico da ecologia subterrânea. Suas interações metabólicas sustentam serviços ecossistêmicos indispensáveis, tais como a decomposição e humificação da matéria orgânica, além da regulação do fluxo de nutrientes essenciais no ciclo do carbono e do nitrogênio. Paralelamente, a dinâmica desses organismos favorece os ciclos do fósforo e do enxofre, fomenta a agregação física do solo e melhora sua capacidade de infiltração e retenção hídrica. Adicionalmente, esse microbioma desempenha papel defensivo crítico, promovendo o biocontrole de fitopatógenos e conferindo tolerância às plantas diante de estresses térmicos e hídricos (Kiprotich et al., 2025).

A despeito de sua relevância ecológica, a integridade funcional desses ambientes encontra-se ameaçada pelo modelo de produção agropecuária predatório. A intensificação do cultivo, caracterizada pelo revolvimento mecanicista contínuo, pela supressão da cobertura vegetal e pela aplicação desmedida de insumos sintéticos e defensivos químicos, aliada aos processos erosivos e à volatilidade das mudanças climáticas globais, tem culminado na contínua supressão da diversidade microbiana. Esse quadro de degradação empobrece a funcionalidade metabólica da biota do solo, resultando no declínio do sequestro de carbono orgânico e na perda da capacidade autorreguladora dos agroecossistemas (Averill et al., 2022).

Diante disso, o manejo, a preservação e a recuperação do microbioma emergem como pilares fundamentais para assegurar a segurança alimentar, a saúde do solo e a resiliência ecológica no campo. Para que essa transição em direção ao manejo conservacionista ocorra de forma efetiva, torna-se indispensável aproximar o conhecimento científico da sociedade por meio da educação ambiental. Por se tratar de uma dimensão frequentemente invisível ao olho humano, a microbiota do solo tende a ser negligenciada nas práticas de gestão territorial. A mediação pedagógica da ecologia microbiana capacita agricultores, estudantes e a comunidade em geral a reconhecerem o solo como um organismo vivo e multifuncional, incentivando a tomada de decisão consciente e a adoção de sistemas sustentáveis de uso da terra. Com base nessas premissas, este trabalho analisa as funções desempenhadas pelos microrganismos na preservação dos solos, investiga os avanços e aplicações da ecologia microbiana e discute de que forma a educação ambiental pode atuar como vetor de transformação prática e conceitual na conservação agroecológica (Wood et al., 2026).

METODOLOGIA

Trata-se de um estudo de revisão bibliográfica integrativa, de natureza qualitativa e descritiva, norteadas pelos procedimentos metodológicos propostos por Gil (2022) para o delineamento de trabalhos de síntese científica. O levantamento dos dados ocorreu mediante consulta às bases Web of Science, Scopus, SciELO e Google Scholar, além de repositórios digitais de acesso aberto. As buscas foram operadas a partir dos descritores “microbioma do solo”, “conservação do solo”, “ecologia microbiana”, “agricultura de conservação”, “saúde do solo” e “educação ambiental”. O recorte temporal delimitou-se prioritariamente entre os anos de 2020 e 2026, recorrendo-se a estudos anteriores apenas quando indispensáveis ao embasamento teórico. Definiram-se como critérios de inclusão artigos de revisão, pesquisas experimentais e

ensaios que abordassem os processos microbianos de conservação edáfica, os impactos das práticas de manejo e suas interfaces com a educação ambiental. A constituição do corpus analítico final decorreu da triagem sequencial de títulos, resumos e textos na íntegra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os microrganismos atuam como engenheiros biológicos do solo. Fungos micorrízicos arbusculares produzem glomalina, glicoproteína que atua como agente cimentante, aumentando a estabilidade de agregados e a resistência à erosão. Bactérias e fungos secretam exopolissacarídeos (EPS), compostos de alto peso molecular que melhoram a coesão das partículas, elevam a capacidade de retenção de água e protegem as células em condições de estresse hídrico. Em ambientes áridos e semiáridos, a formação de crostas biológicas (biocrusts) por cianobactérias, fungos e algas, bem como a precipitação microbiana de carbonato de cálcio (MICP), contribuem significativamente para a estabilização da superfície do solo e para o controle da desertificação (Araujo et al., 2025; Delgado-Baquerizo et al., 2020).

Além dos efeitos físicos, os microrganismos desempenham funções químicas e biológicas essenciais. Bactérias fixadoras de nitrogênio, solubilizadoras de fósforo e produtoras de fitormônios aumentam a disponibilidade de nutrientes e estimulam o crescimento vegetal. A necromassa microbiana representa uma fração importante e estável do carbono orgânico do solo, contribuindo para o sequestro de carbono a longo prazo. A diversidade funcional dessas comunidades está diretamente associada à multifuncionalidade do solo e à sua capacidade de resistir e se recuperar de perturbações (Kiprotich et al., 2025; Zhou et al., 2024).

Práticas de agricultura de conservação – plantio direto, rotação e consórcio de culturas, manutenção de cobertura permanente e redução do revolvimento – favorecem o aumento da biomassa microbiana, da atividade enzimática e da diversidade taxonômica e funcional. Estudos demonstram que esses sistemas elevam os teores de matéria orgânica, glomalina e carbono microbiano, ao mesmo tempo em que reduzem a respiração basal e o quociente metabólico, indicando maior eficiência no uso de carbono (Santellanez-Arreola et al., 2025; Mondaca et al., 2024).

Em contraste, o manejo convencional frequentemente seleciona comunidades menos diversificadas e menos eficientes. A restauração de microbiomas nativos tem se mostrado promissora. A reinoculação de comunidades microbianas complexas, em vez de isolados individuais, acelera a recuperação de áreas degradadas e promove ganhos médios de biomassa vegetal superiores a 60% em diversos ecossistemas (Averill et al., 2022). A preservação de microbiomas inteiros e a utilização de solos de referência ricos em diversidade são apontadas como caminhos mais eficazes para restabelecer a complexidade funcional e a resiliência do solo (Wood et al., 2026; Coban et al., 2022). A educação ambiental funciona como ponte entre o conhecimento científico e a sociedade. Programas de ciência cidadã, oficinas com agricultores e atividades escolares que envolvem a observação de indicadores simples de saúde do solo (presença de minhocas, velocidade de decomposição de matéria orgânica, estabilidade de agregados) tornam o universo microbiano acessível. Ao tornar visível o que é invisível, a educação ambiental fortalece a valorização da biodiversidade do solo e estimula a adoção de práticas sustentáveis, contribuindo para a formação de “guardiões do solo” e para a tomada de decisões baseadas em evidências (Onyeaka et al., 2025).

CONCLUSÕES

Os microrganismos atuam como os principais motores biológicos na conservação e restauração dos solos. Sua

atividade metabólica e diversidade sustentam a decomposição da matéria orgânica, a agregação estrutural do terreno e a ciclagem de nutrientes essenciais, além de aumentarem a tolerância do ecossistema ao estresse hídrico e térmico provocado pelas mudanças climáticas. A ecologia microbiana fornece o embasamento técnico para substituir abordagens degradantes por práticas regenerativas, a exemplo da aplicação de inoculantes biológicos, rotação de culturas e cobertura vegetal contínua.

A eficácia desse ecossistema científico depende da educação ambiental, que traduz evidências teóricas em capacitação prática para produtores e comunidades, viabilizando a adoção rotineira do manejo sustentável. A convergência entre inovação científica, técnicas conservacionistas e ações pedagógicas consolida um modelo agrícola resiliente. Assim, a preservação do microbioma do solo constitui uma responsabilidade técnica, ética e cultural, indispensável para assegurar a produtividade alimentar, a mitigação do aquecimento global e a continuidade dos serviços ecossistêmicos.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de estudo do primeiro autor, cujo apoio tem sido essencial para essa trajetória acadêmica e desenvolvimento de produções científicas, incluindo este resumo expandido.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, A. S. F.; PEREIRA, Arthur P. A.; DE MEDEIROS, Erika V.; MENDES, Lucas W. Soil microbes: below-ground defenders against desertification. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 40, n. 12, p. 1167-1170, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2025.09.014>. Acesso em: 21 ago. 2026.

AVERILL, C.; ANTHONY, M. A.; BALDRIAN, P.; FINKBEINER, F.; VAN DEN HOOGEN, J.; KIERS, T.; KOHOUT, P.; HIRT, E.; SMITH, G. R.; CROWTHER, T. W. Defending Earth's terrestrial microbiome. **Nature Microbiology**, v. 7, n. 11, p. 1717-1725, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41564-022-01228-3>. Acesso em: 21 ago. 2026.

COBAN, O.; DEYN, G. B. de; VAN DER PLOEG, M. Soil microbiota as game-changers in restoration of degraded lands. **Science**, v. 375, n. 6584, p. 989-990, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.abe0725>. Acesso em: 21 ago. 2026.

DELGADO-BAQUERIZO, M.; MAESTRE, F. T.; REICH, P. B.; JEFFRIES, T. C.; GAITAN, J. J.; ENCINAR, D.; BERDUGO, M.; CAMPBELL, C. D.; SINGH, B. K. Microbial diversity drives multifunctionality in terrestrial ecosystems. **Nature Communications**, v. 11, n. 1, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16081-4>. Acesso em: 21 ago. 2026.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2022.

KIPROTICH, K.; MUEMA, E.; WEKESA, C.; NDOMBI, T.; MUOMA, J.; OMayio, D.; OCHIENO, D.; MOTSI, H.; MNCEDI, S.; TARUS, J. Unveiling the roles, mechanisms and prospects of soil microbial communities in sustainable agriculture. **Discover Soil**, v. 2, n. 10, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s44378-025-00037-4>. Acesso em: 21 ago. 2026.

MONDACA, P.; CELIS-DIEZ, J. L.; DÍAZ-SIEFER, P.; OLMOS-MOYA, N.; MONTERO-SILVA, F.; MOLINA, S.; FONTÚRBEL, F. E.; APONTE, H.; MANDAKOVIC, D.; BASTIDAS, B.; ARELLANO, E. C.; LAVANDERO, B.; CARVAJAL, M.; GAXIOLA, A. Effects of sustainable agricultural practices on soil microbial diversity, composition, and functions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 370, 109053, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109053>. Acesso em: 21 ago. 2026.

ONYEAKA, H.; RAMKUMAR, J.; RAMKUMAR, D.; MCCOY, J. The soil microbiome as a classroom: Lessons for food security, health, and sustainability. **Wikifarmer**, 2025. Disponível em: <https://wikifarmer.com/library/en/article/the-soil-microbiome-as-a-classroom-lessons-for-food-security-health-and-sustainability>. Acesso em: 21 ago. 2026.

PHILIPPOT, L.; CHENU, C.; KAPPLER, A.; RILLIG, M. C.; FIERER, N. The interplay between microbial communities and soil properties. **Nature Reviews Microbiology**, v. 21, p. 1-15, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41579-023-00980-5>. Acesso em: 21 ago. 2026.

SANTELLANEZ-ARREOLA, K.; MARTÍNEZ-GAMIÑO, M. Á.; CONSTANTE-GARCÍA, V.; ARREOLA-ÁVILA, J.; GARCÍA-DE LA PEÑA, C.; SILLER-RODRÍGUEZ, Q. K.; TREJO-CALZADA, R.; NAVA-REYNA, E. Beyond Soil Health: The Microbial Implications of Conservation Agriculture. **Diversity**, v. 17, n. 2, p. 90, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/d17020090>. Acesso em: 21 ago. 2026.

WOOD, G. V.; LIDDICOAT, C.; ROBINSON, J. M.; BREED, M. F. Restoring soil and sediment microbiomes in the Anthropocene. **Nature Reviews Microbiology**, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41579-026-01307-w>. Acesso em: 21 ago. 2026.

ZHOU, Y. et al. Soil microbial diversity plays an important role in resisting and restoring degraded ecosystems. **Plant and Soil**, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06489-x>. Acesso em: 21 ago. 2026.