
**As contribuições dos microrganismos na qualidade do solo na
agricultura**

The contributions of microorganisms to soil quality in agriculture

André Luiz Pereira da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4793-4690>

Universidade do Estado do Amapá, Brasil

E-mail: andreengagronomo@gmail.com

Alexandre da Trindade Lélis

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5993-8226>

Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil

E-mail: alexandre_lelis18@hotmail.com

Welliton de Lima Sena

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3021-2499>

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará, Brasil

E-mail: welliton.sena@ifpa.edu.br

Joaquim Alves de Lima Junior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9003-7998>

Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil

E-mail: joaquim.junior@ufra.edu.br

RESUMO

A agricultura sustentável é vital no mundo de hoje, pois oferece o potencial para satisfazer as nossas necessidades agrícolas, algo que a agricultura convencional não consegue fazer. Este tipo de agricultura utiliza uma técnica agrícola especial em que os recursos ambientais podem ser plenamente utilizados e, ao mesmo tempo, garante que nenhum dano lhe seja causado. Assim, a técnica é amiga do ambiente e garante produtos agrícolas seguros e saudáveis. As populações microbianas são fundamentais para processos fundamentais que impulsionam a estabilidade e a produtividade dos agroecossistemas. Várias investigações abordaram a melhoria da compreensão da diversidade, dinâmica e importância das comunidades microbianas do solo e dos seus papéis benéficos e cooperativos na produtividade agrícola. No entanto, nesta revisão descrevemos apenas as contribuições das rizobactérias promotoras do crescimento vegetal (PGPR) e das cianobactérias no desenvolvimento agrícola seguro e sustentável.

Palavras-chave: Microbiologia; Solos; Agricultura.

ABSTRACT

Sustainable agriculture is vital in today's world as it offers the potential to satisfy our agricultural needs, something that conventional agriculture cannot do. This type of agriculture uses a special agricultural technique that can fully utilize environmental resources and at the same time ensures that no damage is caused. Therefore, the technique is respectful of the environment and guarantees safe and healthy agricultural products. Microbial populations are fundamental to the fundamental processes that drive the stability and productivity of agroecosystems. Several investigations have addressed the improvement of the understanding of diversity, the dynamics and the importance of soil microbial communities and their beneficial and cooperative functions in agricultural productivity. However, in this review we only describe the contributions of rhizobacteria and cyanobacteria promoting plant growth (PGPR) to safe and sustainable agricultural development.

Keywords: Microbiology; Suelos; Agriculture.

INTRODUÇÃO

De acordo com estimativas das Nações Unidas, prevê-se que a população humana global atinja os 8,9 mil milhões até 2050, cabendo aos países em desenvolvimento da Ásia e de África absorverem a grande maioria do aumento. A diminuição do abastecimento de água para irrigação e outras preocupações ambientais exacerbam os desafios que enfrentamos para satisfazer as necessidades nutricionais da população crescente.

Uma alternativa para melhorar os processos de produção de alimentos, tem sido ventilada por diversas maneiras pelas quais os microrganismos têm sido utilizados nos últimos 50 anos, promovendo o avanço da tecnologia médica, da saúde humana e animal, do processamento de alimentos, da segurança e qualidade alimentar, da engenharia genética, da proteção ambiental, da biotecnologia agrícola e no tratamento mais eficaz de doenças na agricultura e pecuária. Muitos destes avanços tecnológicos não teriam sido possíveis utilizando métodos simples de engenharia química e física ou, se fossem, não teriam sido práticas economicamente viáveis.

Segundo Streletskii *et al.* (2024), existem uma infinidade de microrganismo que vivem no solo, dentre os quais, pode-se destacar gêneros e espécies fundamentais para a manutenção de sua fertilidade, são os chamados organismos benéficos e os solos que detêm grandes quantidades desses microrganismos podem ser considerados saudáveis, visto que, uma forma de melhorar o solo para sustentar as culturas é utilizar componentes microbianos vivos ou os seus metabolitos.

No entanto, embora as tecnologias microbianas tenham sido aplicadas a vários problemas agrícolas e ambientais com considerável sucesso nos últimos anos, não foram amplamente aceitas pela comunidade científica, uma vez que é muitas vezes de difícil reprodução, consistentemente os seus efeitos benéficos.

Os microrganismos são eficazes apenas quando lhes são fornecidas condições adequadas para o metabolismo, incluindo água disponível, oxigênio, pH e a temperatura do ambiente.

Os tipos de culturas microbianas e inoculantes disponíveis no mercado hoje aumentaram rapidamente devido às novas tecnologias. Estão a ser alcançadas conquistas significativas em sistemas onde a orientação técnica é coordenada com a comercialização de produtos microbianos. Como os microrganismos são úteis na superação de problemas associados ao uso de fertilizantes químicos e pesticidas, são hoje amplamente aplicados na agricultura (Cardoso, 2023).

A poluição ambiental, resultante da erosão excessiva do solo e do transporte associado de sedimentos, fertilizantes químicos e pesticidas para as águas superficiais e subterrâneas, e o tratamento ineficaz dos resíduos humanos e animais, colocam graves problemas ambientais e sociais em todo o mundo. Embora os engenheiros tenham tentado resolver tais problemas usando métodos químicos e físicos estabelecidos, descobriram que isso não pode ser feito sem a implantação de métodos e tecnologias microbianas (Gonçalves et al., 2019).

Durante muitos anos, os microbiologistas do solo e os ecologistas microbianos diferenciam os microrganismos do solo como “benéficos” ou “prejudiciais”, dependendo de como afetam a qualidade do solo, o crescimento e o rendimento das culturas.

Microrganismos benéficos são aqueles que fixam o N atmosférico, decompõem resíduos orgânicos, desintoxicam pesticidas, suprimem doenças de plantas e patógenos transmitidos pelo solo, melhoram a ciclagem de nutrientes e produzem compostos bioativos, como vitaminas, hormônios e enzimas que estimulam o crescimento das plantas.

METODOLOGIA

Para que os objetivos deste estudo fossem alcançados, foi realizado um estudo de revisão bibliográfica, de cunho exploratório. Foi realizada uma busca nos principais periódicos científicos relacionados ao tema proposto. Foi criada uma biblioteca digital

com todos os trabalhos relacionados. A partir disso, foram selecionados os melhores artigos para a elaboração deste estudo.

Conseqüentemente, a seleção mais criteriosa e focada de artigos científicos e livros que versassem sobre o assunto, viabilizando a análise com discussão dos resultados em panorama com o defendido por autores e pesquisadores. Para realização do levantamento bibliográfico, utilizaram-se as plataformas de pesquisa científica Google Acadêmico e Scielo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os micróbios do solo eficientes e potenciais

Tais microrganismos podem compreender populações mistas de micróbios de ocorrência natural que podem ser aplicados como inoculantes para aumentar a diversidade microbiana do solo. As investigações demonstraram que a inoculação de uma comunidade microbiana eficiente no ecossistema do solo melhora a qualidade do solo, a saúde do solo, o crescimento, o rendimento e a qualidade das culturas (Cardoso, 2023).

Essas populações microbianas podem consistir em espécies selecionadas de microrganismos, incluindo rizobactérias promotoras de crescimento de plantas, N₂-fixação de cianobactérias, bactérias e fungos supressores de doenças de plantas, micróbios degradadores de tóxicos do solo, actinomicetos e outros micróbios úteis (Gonçalves, et al., 2019).

A biota microbiana do solo eficiente e potencial só é adequada para práticas agrícolas sustentáveis e pode não ser para outras alternativas. É uma dimensão adicional para otimizar as nossas práticas de gestão do solo e das culturas, tais como rotação de culturas, correções orgânicas, mobilização de conservação, reciclagem de resíduos de culturas, restauração da fertilidade do solo, manutenção da qualidade do solo e controle biológico de doenças de plantas. Se utilizadas de forma adequada, as comunidades microbianas podem beneficiar significativamente as práticas agrícolas.

Micróbios do solo eficientes para uma agricultura e ambiente sustentáveis

A agricultura, num sentido lato, é a atividade na qual o agricultor tenta integrar certos fatores agroecológicos e fatores de produção para uma produção ótima de culturas e pecuária. Assim, é razoável assumir que os agricultores devem estar interessados em formas e meios de controlar microrganismos úteis do solo como componentes importantes do ambiente agrícola.

No entanto, esta ideia tem sido frequentemente rejeitada por naturalistas e defensores da agricultura natural e da agricultura biológica. O argumento é que os microrganismos úteis do solo aumentarão naturalmente com alterações orgânicas nesses solos, como fontes de carbono, energia e nutrientes (Cardoso, 2023).

Na verdade, isto pode ser verdade, onde há abundância de materiais orgânicos para reciclagem é na agricultura de pequena escala. Contudo, na maioria dos casos, os microrganismos do solo, benéficos ou prejudiciais, têm sido muitas vezes controlados de forma vantajosa quando as culturas em várias zonas agroecológicas são cultivadas em rotação de culturas e sem utilização de pesticidas. Isto explica por que os cientistas têm estado interessados há muito tempo na utilização de microrganismos potenciais e eficientes como inoculantes de solo e de plantas para alterar o equilíbrio microbiológico de forma a melhorar a qualidade do solo e as culturas agrícolas ecológicas (Berude, et al., 2015).

A baixa eficiência da produção agrícola está intimamente relacionada com uma má coordenação da conversão de energia que, por sua vez, é influenciada por fatores fisiológicos das culturas, pelo ambiente e por outros fatores biológicos, incluindo micróbios do solo.

A microflora do solo e da rizosfera pode acelerar o crescimento das plantas e aumentar a sua resistência a agentes patogênicos e insetos nocivos através da produção de metabólitos bioativos. Tais microrganismos mantêm o crescimento das plantas e, portanto, têm efeitos primários tanto no solo como na qualidade da colheita (Gonçalves, et al., 2019).

Uma ampla gama de benefícios é possível dependendo da sua predominância e atividade em qualquer momento. No entanto, existe um consenso crescente de que é viável obter o máximo rendimento agrônômico econômico de alta qualidade com retornos

líquidos mais elevados, sem a utilização de fertilizantes, herbicidas, inseticidas e pesticidas artificiais.

Até recentemente, esta não era considerada uma possibilidade muito provável utilizando práticas agrícolas convencionais. No entanto, é importante reconhecer que as melhores práticas de gestão do solo e da agricultura para alcançar uma agricultura mais sustentável e verde também aumentarão o crescimento, o número e as atividades da microflora eficiente do solo que, por sua vez, pode melhorar o crescimento, o rendimento e a qualidade da agricultura (Berude, et al., 2015).

Crescimento das plantas promovendo rizobactérias e produtividade agrícola

No sentido mais amplo, as rizobactérias promotoras do crescimento das plantas incluem o N₂-fixação de rizobactérias que colonizam a rizosfera, fornecendo N às plantas, além das bem caracterizadas simbioses de rizóbios leguminosos. Independentemente do(s) mecanismo(s) de promoção do crescimento das plantas, as Rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (PGPR) deve colonizar a rizosfera ao redor das raízes, o rizoplano (superfície da raiz) ou a própria raiz (dentro do tecido radicular).

O PGPR pode afetar o crescimento das plantas de forma indireta ou direta; promoção indireta do crescimento das plantas afetadas quando o PGPR diminui ou antagoniza os efeitos deletérios de um ou mais fitopatógenos; enquanto a rota direta pelo PGPR envolve fornecer às plantas os compostos sintetizados pela bactéria ou facilitar a absorção de certos nutrientes do meio ambiente.

Dentre as diversas bactérias identificadas como PGPR, os *Bacillus* e *Pseudomonas* são os predominantes. O PGPR exerce um efeito direto no crescimento das plantas pela produção de fitohormônios, solubilização de fosfatos inorgânicos, aumento da nutrição de ferro através de sideróforos quelantes de ferro e dos compostos voláteis que afetam as vias de sinalização das plantas.

Além disso, por meio da antibiose, da competição por espaço e nutrientes e da indução de resistência sistêmica nas plantas contra um amplo espectro de patógenos radiculares e foliares, o PGPR reduz as populações de patógenos radiculares e outros

microrganismos deletérios na rizosfera, beneficiando assim o crescimento das plantas (Berude, et al., 2015).

PGPR como fertilizantes biológicos

Muitos estudos e pesquisas relataram promoção do crescimento das plantas, aumento da produtividade, absorção de N e alguns outros elementos através de inoculações de PGPR. Além disso, os tratamentos com PGPR melhoram o crescimento radicular, levando a um sistema radicular com grande área superficial e aumento do número de pelos radiculares (Gonçalves, et al., 2019).

Em geral, são aplicados grandes volumes de fertilizantes artificiais para repor o N e P do solo, o que resulta em custos elevados e riscos ambientais. A maior parte do P em compostos insolúveis não está disponível para as plantas. N₂ Bactérias fixadoras e solubilizadoras de P (PSB) são importantes para as plantas cultivadas, pois aumentam a absorção de N e P e desempenham um papel crucial como PGPR na biofertilização. Assim, a aplicação de tais micróbios como biofertilizantes ecológicos pode contribuir para minimizar o uso de fertilizantes fosfatados caros.

PGPR como agentes de biocontrole

O PGPR é um grupo de bactérias colonizadoras da rizosfera que produzem substâncias para aumentar o crescimento das plantas e/ou protegê-las contra doenças. O PGPR pode proteger as plantas contra patógenos por meio de interações antagônicas diretas com o patógeno, bem como através da indução de resistência do hospedeiro.

Os PGPR que melhoram indiretamente o crescimento das plantas através da supressão de fitopatógenos o fazem por uma variedade de mecanismos. Estes incluem a capacidade de produzir sideróforos para quelar o ferro, tornando-o indisponível para patógenos, para sintetizar metabolitos antifúngicos, como antibióticos, enzimas da lise da parede celular fúngica ou cianeto de hidrogênio que suprimem o crescimento de patógenos fúngicos, para competir com sucesso. com patógenos para nutrientes ou nichos específicos na raiz e para induzir resistência sistêmica.

Entre os vários PGPRs identificados, *Pseudomonas fluorescens* é uma das

rizobactérias mais extensivamente estudadas, devido às suas ações antagônicas contra vários patógenos de plantas.

O biocontrole depende de uma ampla variedade de características, como a produção pela cepa de controle biológico de vários compostos antibióticos, quelantes de ferro e exoenzimas, como proteases, lipases, quitinases e glucanases, bem como a colonização competitiva da raiz. raiz.

A eficácia do biocontrole e das pseudomonas fluorescentes PGPR é ainda aumentada pela mistura de duas ou mais cepas de *Pseudomonas* spp. ou misturando com quitina ou outras substâncias. *Pseudomonas* fluorescentes MSP-393 foi comprovado como agente de biocontrole para muitas das culturas cultivadas em solos agrícolas salinos (Paulo e Nair, 2008).

Contribuição das cianobactérias para a agricultura e a sustentabilidade Ambiental

Devido à antiguidade evolutiva das cianobactérias, elas estão amplamente adaptadas para sobreviver contra vários ambientes extremos, como seca, salinidade, temperaturas baixas a altas etc. Durante a filogenia, as cianobactérias foram expostas a uma variedade de estresses, sendo os principais o estresse hídrico e salino.

As cianobactérias são tradicionalmente melhor adaptadas à seca e à dessecação, provavelmente através da presença de células vegetativas modificadas (esporos ou acinetos) que são resistentes à dessecação. As cianobactérias representam uma fonte de biomassa continuamente renovável que libera para o meio ambiente substâncias orgânicas solúveis na forma de produtos extracelulares, também conhecidos como metabólitos secundários, que podem ser mineralizados pela microflora e, portanto, benéficos para as culturas agrícolas (Berude, et al., 2015).

Nos últimos anos, os biofertilizantes surgiram como componentes promissores do sistema integrado de fornecimento de nutrientes na agricultura indiana. A capacidade das cianobactérias de mobilizar formas insolúveis de P inorgânico é evidente a partir da descoberta de Kleiner e Harper (1977) que relataram mais P extraível em solos com cobertura de cianobactérias do que em solos próximos sem cobertura.

A utilização de biofertilizantes cianobactérias também é limitada devido à falta de

conhecimentos básicos sobre os fatores envolvidos no sucesso e no fracasso do estabelecimento de espécies de cianobactérias inoculadas. Investigações de campo detalhadas sobre o desenvolvimento de inóculos de solo de cianobactérias eficientes e de alta qualidade e sua aplicação em regiões específicas, como regiões salinas e comprovadas por secas, também são necessárias. Esta técnica de biofertilizante ainda tem uso limitado e, portanto, é importante introduzir a aplicação de cianobactérias em condições de campo para uma agricultura sustentável (Berude, et al., 2015).

Cianobactérias na estabilidade e produtividade de solos desérticos

Os solos de terras áridas em regiões desérticas e semiáridas sofrem de grandes restrições, como propriedades físicas deficientes, baixa fertilidade e deficiência de água (Nisha et al., 2007). O conteúdo de matéria orgânica dos solos de terras áridas é quimicamente e biologicamente menos estável e tende a diminuir muito rapidamente em regiões áridas, conduzindo assim a baixos conteúdos de matéria orgânica.

Estrutura pobre do solo geralmente associada com baixo teor orgânico o carbono, a compactação, a salinidade e a sodicidade resultam numa redução do arejamento e das taxas de infiltração de água, daí uma maior capacidade de erosão do solo, e a redução do número e da biodiversidade da microflora tem, em última análise, um impacto adverso no crescimento e na produtividade das plantas.

A aplicação de cianobactérias no solo semi-árido organicamente pobre desempenhou um papel significativo na melhoria do estado de carbono, nitrogênio e outros nutrientes no solo (Berude, et al., 2015). O elevado teor de C orgânico nos solos tratados pode ser atribuído à natureza autotrófica das cianobactérias, que sintetizam e adicionam matéria orgânica ao solo.

Cianobactérias diazotróficas que são fotoautotróficas e N₂-a fixação melhoram a produção agrícola, agindo como biofertilizante natural através do aumento do teor de C e N dos solos. As crostas biológicas do solo, compostas principalmente por cianobactérias, parecem aumentar a fertilidade do solo ao incorporar matéria orgânica no solo (Berude, et al., 2015).

CONCLUSÕES

Um sistema agrícola ideal é sustentável se mantiver e melhorar a saúde humana, beneficiar produtores e consumidores tanto econômica como espiritualmente, proteger o ambiente e produzir alimentos suficientes para uma população mundial crescente.

O crescimento populacional indiscriminado, a degradação dos solos e o aumento da procura de alimentos, sustentando a produção agrícola através de uma melhor gestão da qualidade do solo, são fundamentais para a questão da segurança alimentar e da redução da pobreza na maioria, senão em todos, os países em desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

BERUDE, Marciana et al. Micorrizas e sua importância agroecológica. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, 2015.

CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, Siu Mui; NEVES, Maria Cristina Prata. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992.

CARGNELUTTI, Denise et al. Soluções tecnológicas emergentes para uma agricultura sustentável: microrganismos eficientes. **García, LMH Agroecologia: princípios e fundamentos ecológicos aplicados na busca de uma produção sustentável, Canoas: Mérida Publishers**, p. 31-62, 2021.

DE ALCÂNTARA, Flávia Aparecida. Manejo agroecológico do solo. **Documentos**, n. 314, 2017.

GONÇALVES, Valdinei Araújo et al. Biomassa e atividade microbiana de solo sob diferentes sistemas de plantio e sucessões de culturas. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 62, 2019.

HEMSI, Paulo S.; BOSCOV, Maria Eugenia G. Aspectos da microbiologia dos solos para aplicações geoambientais. **XI IV GEO'2008: A caracterização dos terrenos para as obras geotécnicas**, 2008.

MATTOS, Maria Laura Turino. **Microbiologia do solo**. 2015.

PEDROSA, Manoel Victor et al. Importância ecológica dos microrganismos do solo. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, 2015.

SALOMÃO, Pedro Emílio Amador et al. A importância do sistema de plantio direto na palha para reestruturação do solo e restauração da matéria orgânica. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, p. e154911870-e154911870, 2020.

SOUTO, Lucas Alvarenga. Microrganismos solubilizadores de fosfato: Usos e potencialidades na agricultura. 2020.

STRELETSKII, R. A.; ASTAYKINA, A. A.; BELOV, A. A.; CHEPTSOV, V. S.; VETROVA, A. A. Beneficial soil microorganisms and their role in sustainable agriculture. In: Kumar, A.; WHITE, J. F.; SINGH, J. **Sustainable Agricultural Practices: A volume in Plant and Soil Microbiome**. 1. ed. Academic Press, 2024. cap. 14, p. 293-333.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. **Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 2, p. 195-276, 2002.