



UNEMAT



UniRV



AGROBIOTEC EM REDE

Ciência integrada para inovação e
sustentabilidade no agronegócio



AGRICULTURA



SILVICULTURA



PECUÁRIA



PISCICULTURA



SEGURANÇA
DOS ALIMENTOS

EDITORA
OMNIS SCIENTIA



Organizadores

June Faria Scherrer Menezes

Augusto Matias de Oliveira

Sabrina Cassaro

Volume 1 | 2026



UNEMAT



UniRV



AGROBIOTEC EM REDE

Ciência integrada para inovação e
sustentabilidade no agronegócio



AGRICULTURA



SILVICULTURA



PECUÁRIA



PISCICULTURA



SEGURANÇA
DOS ALIMENTOS

EDITORA
OMNIS SCIENTIA



Organizadores
June Faria Scherrer Menezes
Augusto Matias de Oliveira
Sabrina Cassaro

Volume 1 | 2026

Editora Omnis Scientia

**AGROBIOTEC EM REDE: CIÊNCIA INTEGRADA PARA INOVAÇÃO E
SUSTENTABILIDADE NO AGRONEGÓCIO**

Volume 1

1ª Edição

RECIFE - PE

2026

Editor-Chefe

Dr. Daniel Luís Viana Cruz

Organizadores

June Faria Scherrer Menezes

Augusto Matias de Oliveira

Sabrina Cassaro

Conselho Editorial

Dr. Amâncio António de Sousa Carvalho – ESS-UTAD – Portugal

Dr. Cássio Brancalone – UFFS – Brasil

Dr. Marcelo Luiz Bezerra da Silva – UEPa – Brasil

Dra. Pauliana Valéria Machado Galvão – UPE – Brasil

Dr. Plínio Pereira Gomes Júnior – UFRPE – Brasil

Dr. Walter Santos Evangelista Júnior – UFRPE – Brasil

Dr. Wendel José Teles Pontes – UFPE – Brasil

Editores de Área - Ciências Agrárias

Dr. Álefe Lopes Viana

Dr. Luis de Souza Freitas

Dra. Marcia Helena Niza Ramalho Sobral

Dr. Walter Santos Evangelista Júnior

Assistente Editorial

Thialla Larangeira Amorim

Imagem de Capa

Canva

Edição de Arte

Vileide Vitória Larangeira Amorim

Revisão

Os autores



Este trabalho está licenciado com uma Licença Creative Commons – Atribuição - Não Comercial - Sem Derivações 4.0 Internacional.

O conteúdo abordado nos artigos, seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Lumos Assessoria Editorial

C749

Agrobiotec em rede : ciência integrada para inovação e sustentabilidade no agronegócio [recurso eletrônico] / organizadores June Faria Scherrer Menezes, Augusto Matias de Oliveira e Sabrina Cassaro. — 1. ed. — Recife : Omnis Scientia, 2026.
Dados eletrônicos (pdf).

Inclui bibliografia.

ISBN 978-65-284-0601-2

DOI: 10.47094/978-65-284-0601-2

1. Microbiologia agrícola. 2. Bacteriologia agrícola.
3. Micro-organismos fitopatogênicos. I. Menezes, June Faria Scherrer. II. Oliveira, Augusto Matias de.
III. Cassaro, Sabrina.

CDD23: 630.276

I-0309262

Bibliotecária: Priscila Pena Machado – CRB-7/6971

Editora Omnis Scientia

Av. República do Líbano, nº 251, Sala 2205, Torre A,
Bairro Pina, CEP 51.110-160, Recife-PE.

Telefone: +55 87 99920-5762

editoraomnisscientia.com.br

contato@editoraomnisscientia.com.br



PREFÁCIO

A região Centro-Oeste é vital para a economia do Brasil, gerando empregos e renda. É conhecida mundialmente por sua capacidade produtiva e tecnológica, crescendo rapidamente a cada ano. No entanto, com esse crescimento, surgem desafios importantes. A sustentabilidade, a conservação do meio ambiente e a necessidade de sistemas de produção mais resilientes diante das mudanças climáticas são algumas das questões a serem enfrentadas.

Além das mudanças no clima, a maior frequência de pragas e doenças tem um impacto significativo na estabilidade dos sistemas agropecuários. Isso é especialmente preocupante em regiões tropicais, onde há grandes áreas de produção de grãos e sementes. Além da produção de peixes, bovinos para carne e produção de leite.

Estes fatores são cruciais para garantir segurança alimentar, estabilidade econômica e sustentabilidade ambiental. Isso está alinhado com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, visando um futuro mais equilibrado e próspero para todos.

Pensando nisto, a Rede Agrobiotec escreve essa cartilha com o intuito de mostrar à sociedade o papel da ciência por meio de várias pesquisas e pesquisadores envolvidos na região Centro-Oeste.

INTRODUÇÃO

Os microrganismos fazem parte da nossa vida de forma muito mais próxima do que imaginamos. Eles estão no solo, no ar, na água, nos animais, nas plantas e até no corpo humano (Figura 1). Esses seres vivos são invisíveis a olho nu, mas exercem papéis fundamentais: alguns são benéficos, auxiliando na saúde, no crescimento das plantas e até na produção de alimentos; outros, porém, podem causar doenças, prejudicar a produção e colocar em risco a saúde de animais e pessoas.

Figura 1. Presença de microrganismos em diferentes ambientes. **Fonte:** imagem gerada por IA.



Fonte: imagem gerada por IA.

De forma simples, os microrganismos podem ser divididos em dois grupos: os (1) benéficos, como as bactérias endofíticas, que vivem no interior dos tecidos vegetais sem causar danos aparentes e contribuem para o desenvolvimento saudável e produtivo da lavoura. Outro exemplo são as bactérias solubilizadoras de fósforo, capazes de transformar esse nutriente do solo em uma forma que as plantas conseguem absorver, aumentando a produtividade e diminuindo a dependência de adubos químicos. E o segundo grupo são os maléficos, como a *Salmonella* e a *Escherichia coli*, que podem estar presentes em alimentos de origem animal, como carne bovina e peixe, trazendo sérios riscos à saúde humana. Além dos problemas de saúde, essas bactérias podem gerar prejuízos econômicos para produtores e para toda a cadeia produtiva. Outro exemplo de microrganismo maléfico é o fungo *Lasiodiplodia*, que causa doenças em espécies florestais como a teca, prejudicando o crescimento das árvores, impactando negativamente a silvicultura regional.

Compreender esses microrganismos e aprender a lidar com eles é essencial para promover uma agricultura, uma pecuária e uma silvicultura mais sustentáveis, garantindo alimentos de qualidade e segurança para todos. Essa cartilha reúne informações e resultados de projetos de pesquisa que têm em comum o estudo e a aplicação prática do conhecimento sobre microrganismos:

- Bactérias endofíticas na qualidade fisiológica de sementes, desenvolvimento de plantas e produtividade de grãos de soja e milho;
- Fontes alternativas de fósforo associadas a microrganismos solubilizadores na produção e na rentabilidade da soja;
- Desenvolvimento e seleção de genótipos de Teca, adaptados às regiões do MT e resistentes à *Lasiodiplodia*;
- Uso de biotecnologias para avaliar o potencial patogênico e de multirresistência das cepas de *Escherichia coli* na cadeia produtiva de carne bovina;
- Rastreabilidade de *Salmonella* spp. multirresistentes em peixes redondos de pisciculturas nas regiões Amazônia, Cerrado e Pantanal.

Assim, esta cartilha foi elaborada para aproximar o conhecimento científico da realidade prática, demonstrando como os microrganismos — sejam eles benéficos ou maléficos — podem transformar a agricultura, a silvicultura, a pecuária, a piscicultura e até a nossa saúde no dia a dia.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....11

BACTÉRIAS ENDOFÍTICAS E A AGRICULTURA

June Faria Scherrer Menezes

Augusto Matias de Oliveira

Márcia Regina da Costa

Juliana Silva Rodrigues Cabral

Eduarda Santana Soares

Letícia Schneider Pezzini

Paulo Henrique Graziotti

DOI: 10.47094/978-65-284-0601-2/11-18

CAPÍTULO II.....19

MANEJO DE FÓSFORO: RIZOBACTÉRIAS E FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES COMO ESTRATÉGIA NA DISPONIBILIZAÇÃO DE FÓSFORO PARA AGRICULTURA

Jéssyca Adriana Gomes Florência da Silva

Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão

Juliana Silva Rodrigues Cabral

Thays Mendonça Oliveira

Wanessa Thais Ferreira Duarte

Renan Ramos da Rosa

Maria Luiza Terra Vieira

Leonardo Cardoso Gomes

Gabriel Gomes Matias

Gabriel Elias Soares Araújo

DOI: 10.47094/978-65-284-0601-2/19-33

CAPÍTULO III.....34

Lasiodiplodia theobromae: UMA AMEAÇA INVISÍVEL AO CULTIVO DE TECA NO ESTADO DO MATO GROSSO

Gilcianny Pignata Cavalcante

Leonarda Grillo Neves

Antonio Marcos Chimello

Sabrina Cassaro

Maria do Socorro Bezerra de Araújo

Antonio André da Silva Alencar

Kaliane Zaira Camacho Maximiano Cruz

DOI: 10.47094/978-65-284-0601-2/34-42

CAPÍTULO IV.....43

E. coli e Salmonella na cadeia de alimentos de origem animal do Brasil: como assegurar a qualidade do campo a mesa?

Eduardo Eustaquio de Souza Figueiredo

Maxsueli Machado

Alexsandro da Silva Siqueira

Gabriela da Silva Pinho

DOI: 10.47094/978-65-284-0601-2/43-51

BACTÉRIAS ENDOFÍTICAS E A AGRICULTURA¹

June Faria Scherrer Menezes

Augusto Matias de Oliveira

Márcia Regina da Costa

Juliana Silva Rodrigues Cabral

Eduarda Santana Soares

Letícia Schneider Pezzini

Paulo Henrique Graziotti

A agricultura moderna está sob forte pressão para fornecer maiores rendimentos, alimentar a população mundial em constante crescimento e reduzir a utilização de produtos químicos sintéticos. Para manter os altos índices produtivos atuais, as práticas agrícolas dependem amplamente da aplicação de fertilizantes químicos, que podem resultar em consequências negativas como contaminação da água por meio da desnitrificação e lixiviação, o que é prejudicial a todos os organismos vivos (Prasad et al., 2020).

Diante desse cenário, as práticas agrícolas atuais tem valorizado cada vez mais o solo. A saúde do solo é essencial para a manutenção da vida, uma vez que abriga comunidades de microrganismos que interagem com as plantas, influenciando seu crescimento, saúde e resiliência (Liu-Xu et al., 2024). Como diz Louis Pasteur: “o papel dos infinitamente pequenos é infinitamente grande”. Microrganismos benéficos, como as bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) e os fungos micorrízicos, estabelecem **relações mutualísticas** com as plantas, contribuindo com a absorção de nutrientes, estímulo ao crescimento vegetal e maior resistência a condições adversas. Isso auxilia na ciclagem de nutrientes, na saúde do solo e na produtividade das plantas (Liu-Xu et al., 2024). Além disso, ajudam a reduzir a dependência de fertilizantes químicos, mitigando os riscos ambientais associados ao seu uso.

Com os avanços tecnológicos e biotecnológicos, as práticas agrícolas modernas têm explorado cada vez mais o potencial dos microrganismos benéficos para aumentar a eficiência produtiva e promover uma agricultura mais sustentável (Liu-Xu et al., 2024). Assim, observa-se que a manutenção da sustentabilidade agrícola global e o aumento da produção de alimentos depende da compreensão da dinâmica do solo, que muitas das vezes é ignorada (Prasad et al., 2017). A biota do solo contribui substancialmente para o funcionamento eficaz do solo e para a manutenção de sua sustentabilidade (Prasad et al., 2017).

As bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) beneficiam as plantas direta e indiretamente. Entre os efeitos diretos, destaca-se a fixação biológica de nitrogênio, a solubilização de fósforo e potássio, a produção de fitohormônios (auxinas, citocininas e giberelinas), e a síntese de sideróforos que aumentam a disponibilidade de ferro. Indiretamente, as bactérias contribuem para a redução de estresses bióticos e abióticos, estimulam o desenvolvimento radicular e melhoram a absorção de água e nutrientes (Ayilara et al., 2023; Santoyo et al., 2016). Assim, as BPCP favorecem o crescimento e a produtividade das plantas, promovendo sistemas agrícolas mais sustentáveis e reduzindo a necessidade de insumos químicos.

Rede Agrobiotec, Subprojeto V – Bactérias endofíticas na produção da soja e do milho.

Autores vinculados a Faculdade de Agronomia e Pós-graduação em Produção Vegetal da Universidade de Rio Verde – UniRV, Rio Verde, Goiás.

Curiosidade

Você sabia que as bactérias endofíticas podem “conversar” com as plantas?

Algumas bactérias endofíticas conseguem “conversar” com as plantas por meio da liberação de sinais químicos, como moléculas de quorum sensing, fitormônios e compostos orgânicos voláteis. Esses sinais são reconhecidos pelas células vegetais e ativam respostas específicas, como o fortalecimento das defesas naturais, o estímulo ao crescimento das raízes ou a melhoria na absorção de nutrientes. Além disso, as endófitas podem modificar seu próprio genoma para se adaptar ou evitar o mecanismo de defesa da planta hospedeira (Oukala et al., 2021). Essa comunicação ocorre de forma bidirecional: enquanto a bactéria envia sinais que alteram o metabolismo da planta, a planta também libera substâncias que regulam o comportamento bacteriano, favorecendo uma relação mutualística. Esse “diálogo químico” é essencial para o sucesso da associação endofítica e para o desempenho saudável das plantas em diferentes condições ambientais.

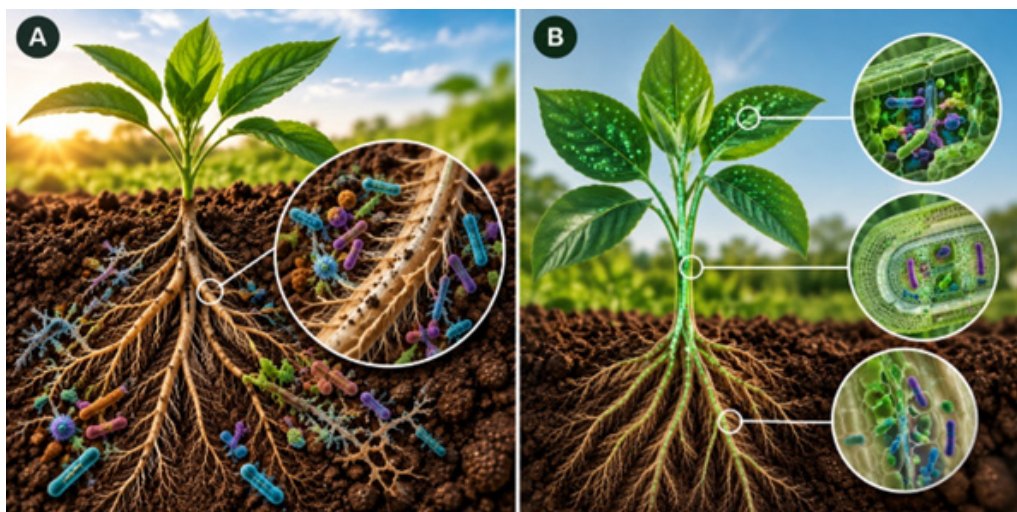
Bactérias Promotoras do Crescimento de Plantas

As bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) são microrganismos benéficos que vivem na rizosfera (região de 3 a 5 mm entorno da raiz), na superfície ou dentro dos tecidos vegetais, e favorecem o desenvolvimento das plantas por diferentes mecanismos. Elas podem estimular o crescimento diretamente, melhorando a nutrição e a produção de fitormônios, ou indiretamente, protegendo contra patógenos e estresses ambientais.

As BPCP podem ser divididas em dois grupos quanto a sua colonização: rizósfericas e endofíticas. As rizósfericas vivem na rizosfera, região do solo que envolve diretamente

as raízes, ou aderidas à superfície das raízes (Figura 2A), e sua relação com a planta é **extracelular**, sem penetração nos tecidos (Nwachukwu et al., 2021). As propriedades biológicas, físicas e químicas da rizosfera são moduladas pelas plantas. Gêneros como *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Azotobacter* e *Burkholderia*, entre outros, possuem espécies rizosféricas.

Figura 2. Microrganismos rizosféricos (A) e endofíticos (B)



Fonte: imagem gerada por IA.

Já as bactérias endofíticas colonizam o interior dos tecidos vegetais (raízes, caules, folhas, sementes), sem causar danos ou sintomas de doença (Oukala et al., 2021). Elas estabelecem uma relação íntima e mutualística, vivendo dentro da planta, frequentemente nos espaços **intercelulares** ou até mesmo intracelularmente. Entre os gêneros que englobam espécies endofíticas se tem *Herbaspirillum*, *Gluconacetobacter*, *Enterobacter*, *Burkholderia*, *Azospirillum*, entre outros. O mesmo gênero bacteriano pode ter tanto bactérias rizosféricas quanto endofíticas.

As bactérias endofíticas podem ser obrigatórias, vivendo dentro da planta durante todo o seu ciclo de vida, pois dependem da atividade metabólica da planta para sua sobrevivência, ou facultativas, no qual colonizam internamente os tecidos vegetais durante alguma fase de seu ciclo de vida (Santos et al., 2018). Por estarem dentro das plantas, elas podem ter mais chances de se darem bem, já que estão protegidas de fatores externos como variações climáticas, competição com outros microrganismos, entre outros efeitos adversos.

As bactérias endofíticas podem proteger as plantas contra estresses bióticos e abióticos. É sabido que elas promovem o crescimento vegetal por meio de fatores bioquímicos e fisiológicos, como a fixação biológica de nitrogênio, a solubilização de fosfato, a produção de sideróforos e a síntese de substâncias promotoras do crescimento vegetal (Prasad et al., 2020).

Porém, é importante ficar de olho: as bactérias endofíticas também podem produzir substâncias que, em excesso, podem prejudicar as sementes, como o ácido indolacético (AIA). A produção elevada de AIA pode causar efeitos tóxicos, como observado na cepa de *Rhizobium leguminosarum*, que apresentou efeitos nocivos sobre sementes de alface devido à sua produção excessiva desse composto (Schlindwein et al., 2008). Isso ocorre porque as auxinas, em geral, podem apresentar ação herbicida quando em altas concentrações (Todd et al., 2020). Szilagyi-Zecchin e seus colaboradores observaram que duas cepas de *Bacillus* (CNPSO 2477 e CNPSO 2478) apresentam boa capacidade de produção de AIA, sideróforos e enzimas líticas, no entanto, não foram boas candidatas como promotoras de crescimento, pois reduziram a germinação das sementes.

Por isso, antes de usar essas bactérias em larga escala, é preciso realizar testes para garantir que elas não atrapalhem a germinação das sementes e o desenvolvimento da planta.

INTERESSE CIENTÍFICO

Efeito das Bactérias endofíticas na cultura da soja e milho

O cultivo de soja está entre as atividades que apresentam um dos maiores crescimentos econômicos na agricultura (Fulaneti, 2022). O Brasil, especificamente, é o maior produtor mundial de soja, e estimativas preveem um aumento de 3,6% na área plantada em relação última safra para a safra 2025/2026. A produção estimada é de 177.638,6 mil toneladas, 3,6% superior à da safra 2024/25, indicando a possibilidade de novo recorde (Cobab, 2025). O uso do grão é bastante diverso e engloba a fabricação de ração, óleo, biocombustível, além do setor industrial (Güzeler et al., 2016).

O milho (*Zea mays* L.) também é uma das culturas agrícolas mais importantes do mundo, possuindo papel importante na segurança alimentar, na produção animal e na indústria. Amplamente cultivado em diferentes condições climáticas, o milho destaca-se pela alta produtividade e versatilidade de uso, sendo utilizado na alimentação humana, como ingrediente básico de rações para animais e como matéria-prima para biocombustíveis e produtos industriais. Além disso, sua capacidade de adaptação e a disponibilidade de tecnologias avançadas de manejo e melhoramento genético fazem do milho uma cultura estratégica para o desenvolvimento sustentável e a segurança alimentar global. No Brasil, na safra 2025/2026 é projetado um aumento de 6,1% na área cultivada, esperando o cultivo de 4.003,4 mil hectares, com produção de 25.632,4 mil toneladas e produtividade média de 6.403 kg ha⁻¹ (Conab, 2025).

Assim, é fundamental conhecer a diversidade e a quantidade de bactérias endofíticas associadas à soja e ao milho nos mais variados ambientes. Esse conhecimento serve de base para o uso desses microrganismos como biofertilizantes, promotores de crescimento, agentes de biocontrole e até mesmo como auxiliares na correção do solo, contribuindo, de

forma geral, para o aumento da produtividade da cultura (Ayilara et al., 2023; Nwachukwu et al., 2021).

Naturalmente, as raízes da soja abriga bactérias noduladoras e bactérias endofíticas, que ajudam a aumentar o estoque de nitrogênio e a recuperar outros nutrientes perdidos no solo para a nutrição da planta. As bactérias endofíticas podem sustentar o crescimento e a saúde das plantas exibindo antibiose contra fitopatógenos, produção de enzimas, biossíntese de fitormônios, ácidos orgânicos e secreção de metabólitos secundários (Ayilara et al., 2023).

Franceschini et al. (2024) avaliaram a eficácia agrônômica da combinação das bactérias *Priestia arybathaii* e *Priestia megaterium*, para o crescimento da soja em cinco condições edafoclimáticas diferentes. Os resultados evidenciaram aumento significativo no crescimento da soja em altura, massa seca e produtividade com o uso do inoculante, evidenciando sua adaptabilidade em diferentes regiões. Houve aumento na produtividade de grãos em comparação com o controle sem as bactérias endofíticas. E concluíram que o inoculante possui potencial significativo para otimizar o desenvolvimento da cultura em diversos ambientes, destacando-se como uma estratégia promissora para impulsionar a produção de soja de maneira eficiente e sustentável.

Na cultura do milho, Szilagyi-Zecchin et al. (2014), observaram que *Enterobacter* sp. CNPSO 2480 e *Bacillus* sp. cepa CNPSO 2481 aumentaram o volume radicular em 44% e 39%, respectivamente, e a germinação das sementes em 47% e 56%, respectivamente. As duas cepas foram classificadas como boas candidatas para a produção de inoculantes biológicos para milho. Siddique et al. (2022), avaliando o efeito de bactérias endofíticas presentes em sementes de milho sob condições de déficit hídrico, relataram que as bactérias melhoraram o comprimento da raiz e da parte aérea, a biomassa da planta, a área foliar, o teor de prolina, açúcar e proteína em condições normais e de seca. As enzimas antioxidantes também reduziram com a inoculação de bactérias endofíticas nas sementes em condições de seca (Siddique et al., 2022).

Os mecanismos de ação pelos quais essas bactérias endofíticas trazem esse efeito tamponante são diversos, tais como produção de osmólitos relacionados à homeostase, produção de enzimas relacionadas ao estresse oxidativo e redução dos níveis de etileno na planta (Cunha et al., 2023).

As bactérias endofíticas têm demonstrado habilidade em promover o crescimento e desenvolvimento das culturas, ao mesmo tempo em que melhoram a fertilidade do solo (Martins, 2020). O uso da biodiversidade microbiana se mostra como uma alternativa eficaz ao uso excessivo de produtos químicos, aumentando a resiliência, e consequentemente, conseguindo manter o metabolismo da planta ativo (Castro et al., 2023).

Além de oferecer uma rota econômica e ecológica para melhorar o fornecimento de nutrientes às plantas e fornecer proteção contra diversos estresses abióticos e bióticos, as bactérias endofíticas desempenham um papel potencial no aumento da produtividade das

culturas e na manutenção da saúde do solo de forma sustentável (Prasad et al., 2020).

Benefícios a Longo Prazo:

Além de tudo isso, essas estratégias ajudam a criar uma agricultura mais resistente, especialmente diante das mudanças climáticas. Plantas que fazem parceria com “bactérias do bem” tendem a aguentar melhor os desafios do clima.

Ponto de vista alternativo:

Algumas pessoas podem se perguntar sobre os riscos de introduzir novas bactérias em cultivos, mas é por isso que fazemos testes tão rigorosos, para garantir a segurança e a eficácia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYILARA, M. S.; ADELEKE, B. S.; BABALOLA, O. O. Bioprospecting and challenges of plant microbiome research for sustainable agriculture, a review on soybean endophytic bacteria. **Microbial ecology**, v. 85, n. 3, p. 1113-1135, 2023. <https://doi.org/10.1007/s00248-022-02136-z>.

CASTRO, I. P.; DA SILVA, W. F. Tolerância ao déficit hídrico na germinação de sementes de soja tratadas com *Bacillus aryabhattai*. *Cerrado Agrociências*, v. 14, p. 46-55, 2023.

CENCI, D. R.; LORENZO, C. A mudança climática e o impacto na produção de alimentos: alguns elementos de análise da realidade brasileira e argentina. *Revista Direito em Debate*, v. 29, n. 54, p. 32-43, 2020. DOI: <https://doi.org/10.21527/2176-6622.2020.54.32-43>. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/revistadireitoemdebate/article/view/11446>. Acesso em: 6 set. 2025.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira: grãos, 1º levantamento, safra 2025/26. Brasília, DF: Conab, 2025. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 5 nov. 2025.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Perspectivas para a Agropecuária. Brasília, DF: Conab, 2023. 92 p.

CUNHA, E. T.; ARISI, A. C. M.; SOARES, C. R. F. S. Efeitos do estresse subletal em bactérias promotoras de crescimento vegetal: revisão sistemática e aplicação em inoculantes de *Azospirillum brasilense* para milho. Disponível em: https://bdt.d.ibict.br/vufind/Record/UFSC_9aad14f51b16c257d63813b679038910. Acesso em: 23 nov. 2023

FRANCESCHINI, S. B., PAZ, I. C. P., & GUIMARÃES, A.M. Eficácia agronômica do produto estive (*Priestia aryabhattai* + *Priestia megaterium*) sobre o crescimento de soja em cinco condições edafoclimáticas diferentes. *Revista Inova Ciência & Tecnologia/Innovative*

Science & Technology Journal. Recuperado de <https://periodicos.iftm.edu.br/index.php/inova/article/view/1377>

FULANETI, F. pdf. Acesso em: 16 set. 2025. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/25956/DIS_PPGAGRONOMIA_2022

FULANETI, F. S. Opções de bactérias na coinoculação na cultura da soja. 2022. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2022.

GÜZELLER, Nuray; YILDIRIM, C. A utilização e processamento de soja e produtos de soja. [S.l.], [s.n.], 2016.

LIU-XU, L.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, A. I.; CAMAÑES, G.; VICEDO, B.; SCALSCHI, L.; LLORENS, E. Harnessing green helpers: nitrogen-fixing bacteria and other beneficial microorganisms in plant-microbe interactions for sustainable agriculture. *Horticulturae*, v. 10, n. 6, p. 621, 2024. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10060621>.

NWACHUKWU, B. C.; AYANGBENRO, A. S.; BABALOLA, O. O. Elucidating the rhizosphere associated bacteria for environmental sustainability. **Agriculture**, v. 11, n. 1, p. 75, 2021. <https://doi.org/10.3390/agriculture11010075>.

OUKALA, N.; AISSAT, K.; PASTOR, V. Bacterial endophytes: The hidden actor in plant immune responses against biotic stress. **Plants**, v. 10, n. 5, p. 1012, 2021. <https://doi.org/10.3390/plants10051012>.

PRASAD, M.; CHAUDHARY, M.; CHOUDHARY, M.; KUMAR, T. K.; JAT, L. K. Rhizosphere microorganisms towards soil sustainability and nutrient acquisition. In: **Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture: Volume I: Plant-soil-microbe nexus**. Singapore: Springer Singapore, 2017. p. 31-49. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5589-8_2.

PRASAD, M.; SRINIVASAN, R.; CHAUDHARY, M.; MAHAWER, S. K.; JAT, L. K. Endophytic bacteria: Role in sustainable agriculture. In: **Microbial endophytes**. Woodhead Publishing, 2020. p. 37-60. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818734-0.00003-6>.

SANTOS, M. L. D.; BERLITZ, D. L.; WIEST, S. L. F.; SCHÜNEMANN, R.; KNAAK, N.; FIUZA, L. M. Benefits associated with the interaction of endophytic bacteria and plants. **Brazilian archives of biology and technology**, v. 61, p. e18160431, 2018. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2018160431>.

SANTOYO, G.; MORENO-HAGELSIEB, G.; OROZCO-MOSQUEDA, M. D. C.; GLICK, B. R. Plant growth-promoting bacterial endophytes. **Microbiological research**, v. 183, p. 92-99, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.11.008>.

SCHLINDWEIN, G.; VARGAS, L. K.; LISBOA, B. B.; AZAMBUJA, A. C.; GRANADA, C. E.; GABIATTI, N. C.; PRATES, F.; STUMPF, R. Influência da inoculação de rizóbios sobre a germinação e o vigor de plântulas de alface. **Ciência Rural**, v. 38, n. 3, p. 658-664, 2008.

SIDDIQUE, S.; NAVEED, M.; YASEEN, M.; SHAHBAZ, M. Exploring potential of seed endophytic bacteria for enhancing drought stress resilience in maize (*Zea mays* L.). **Sustainability**, v. 14, n. 2, p. 673, 2022. <https://doi.org/10.3390/su14020673>.

SZILAGYI-ZECCHIN, V. J.; IKEDA, A. C.; HUNGRIA, M.; ADAMOSKI, D.; KAVA-CORDEIRO, V.; GLIENKE, C.; GALLI-TERASAWA, L. V. Identification and characterization of endophytic bacteria from corn (*Zea mays* L.) roots with biotechnological potential in agriculture. **Amb Express**, v. 4, p. 26, 2014. <https://doi.org/10.1186/s13568-014-0026-y>.

TODD, O. E.; FIGUEIREDO, M. R.; MORRAN, S.; SONI, N.; PRESTON, C.; KUBEŠ, M. F.; NAPIER, R.; GAINES, T. A. Synthetic auxin herbicides: finding the lock and key to weed resistance. **Plant Science**, v. 300, p. 110631, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110631>.

MANEJO DE FÓSFORO: RIZOBACTÉRIAS E FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES COMO ESTRATÉGIA NA DISPONIBILIZAÇÃO DE FÓSFORO PARA AGRICULTURA¹

Jéssyca Adriana Gomes Florência da Silva

Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão

Juliana Silva Rodrigues Cabral

Thays Mendonça Oliveira

Wanessa Thais Ferreira Duarte

Renan Ramos da Rosa

Maria Luiza Terra Vieira

Leonardo Cardoso Gomes

Gabriel Gomes Matias

Gabriel Elias Soares Araújo

Importância do fósforo na planta

A disponibilidade de nutrientes no solo nem sempre supre as necessidades das plantas, o que compromete a produtividade agrícola. A colheita exporta nutrientes e, quando associada à reposição inadequada, ao desgaste natural e às características específicas dos solos, resulta em deficiências nutricionais. Assim, cresce a dependência de fertilizantes minerais (ARNON; STOUT, 1939; WINIWARTER, 2014; PRAKASH *et al.*, 2015).

O fósforo (P) é um macronutriente que frequentemente limita o crescimento das plantas (KALAYU, 2019). Nos solos brasileiros, apresenta baixa disponibilidade e elevada fixação em ambientes de pH reduzido. Na solução do solo, o P pode ser absorvido pela biomassa microbiana, assimilado pelas plantas, fixado na matriz do solo ou precipitar-se na presença de ferro, alumínio e cálcio, dependendo do pH (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; NOVAIS; SMYTH, 1999).

Esse nutriente é constituinte dos ácidos nucleicos (DNA, RNA), trifosfato de adenosina (ATP), participa da divisão celular, regula enzimas e está envolvido no metabolismo de carboidratos, sendo indispensável em todas as fases do desenvolvimento vegetal (RAZAQ *et al.*, 2017; MALHOTRA *et al.*, 2018).

¹ Rede Agrobiotec, Subprojeto VI – Fontes alternativas de fósforo associadas à microrganismos solubilizadores na produção e na rentabilidade da soja.

Autores vinculados a Faculdade de Agronomia e Pós graduação em produção Vegetal da Universidade de Rio Verde – UniRV, Rio Verde, Goiás.

A baixa disponibilidade de fósforo pode resultar de pH ácido, compactação e toxicidade por alumínio. Nas plantas, manifesta-se por crescimento limitado, atraso no florescimento, folhas velhas com manchas arroxeadas ou necróticas, raízes adventícias e baixa absorção de água e nutrientes. Esses fatores reduzem o vigor vegetal e a tolerância a condições adversas (YADAV; YADAV, 2024; DEB *et al.*, 2015). Além disso, a deficiência de P reduz a assimilação de carbono devido à menor produção de ATP, o que compromete a taxa fotossintética, produção de biomassa e, conseqüentemente, a produtividade agrícola (YADAV; YADAV, 2024).

Fontes de fósforo para adubação

A principal forma de fósforo (P) no solo é o fosfato (H_2PO_4^-) de baixa mobilidade. Ele pode estar presente na solução do solo devido ao intemperismo de rochas ou à ação antrópica. A mineralização do P pode ocorrer de forma isolada ou associada à mineralização do carbono orgânico (RICHARDSON; SIMPSON, 2011; JIN *et al.*, 2020; LI *et al.*, 2025). Já a taxa de imobilização depende da qualidade do resíduo em decomposição e da disponibilidade de carbono e nitrogênio no solo (McGILL; COLE, 1981).

Em solos altamente intemperizados, o fósforo é fortemente adsorvido por óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al); em solos alcalinos, a fixação ocorre principalmente com cálcio (Ca) (Figura 1). Esse processo pode tornar indisponíveis entre 75% e 90% do P aplicado (IGUAL *et al.*, 2001; GYANESHWAR *et al.*, 2002; PRADHAN; SUKLA, 2006). Assim, mesmo após a aplicação de fertilizantes, grande parte do nutriente é rapidamente fixada, especialmente em ambientes tropicais, restando às plantas apenas cerca de 15% do fósforo aplicado (GYANESHWAR *et al.*, 2002; TAKAHASHI; ANWAR, 2007).

Como consequência, agricultores aplicam grandes quantidades de fertilizantes fosfatados, o que eleva os custos de produção e aumenta a dependência da importação. Nesse cenário, estratégias que favoreçam a solubilização do fósforo emergem como alternativas para reduzir custos, ampliar a eficiência e fortalecer a sustentabilidade da agricultura brasileira.

Fonte Mineral de Fósforo

Os fertilizantes minerais fosfatados são produzidos a partir de recursos não renováveis, as rochas fosfáticas. No Brasil, predominam rochas ígneas com baixo teor de P (5% a 15% de P_2O_5) e maior custo de beneficiamento (SASABUCHI *et al.*, 2023). A demanda por fertilizantes, em especial os fosfatados, tem crescido de forma expressiva, e o país consolidou-se como o quarto maior consumidor mundial, impulsionado pela expansão da agricultura e setor de biocombustíveis (DE ARAUJO SOBREIRA *et al.*, 2024).

A escassez de rochas fosfáticas é um desafio para países com reservas limitadas, pois as principais jazidas concentram-se na China e Marrocos (ZOU *et al.*, 2022). No caso

brasileiro, estima-se que parte das reservas possa se esgotar até 2050 (BRASIL, 2022). Essa limitação aumenta a dependência da importação e expõe os produtores a riscos decorrentes de instabilidades geopolíticas que afetam o comércio internacional. Diante disso, torna-se essencial identificar e explorar manejos e fontes alternativas de fósforo.

Fertilizantes Orgânicos e Organominerais de Fósforo

Fertilizantes orgânicos e organominerais contêm matéria orgânica, mas apresentam diferenças importantes. Segundo o Decreto Federal nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, fertilizante orgânico é o “produto de natureza fundamentalmente orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais”. Já o fertilizante organomineral (FOM) é definido como “produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos”.

A fertilização orgânica enriquece a matéria orgânica do solo, estimula a atividade microbiana e promove a liberação gradual de nutrientes, reduzindo a dependência exclusiva de insumos minerais (CARVALHO *et al.*, 2011). No Brasil, destaca-se o uso de cama de aves, consolidado especialmente na agricultura familiar (BORDIN *et al.*, 2025; LEMOS *et al.*, 2014). Outra prática é a reciclagem de fósforo a partir de esterco bovino, que contém até cinco vezes mais P do que os excrementos humanos (PANTANO *et al.*, 2016).

O biochar, também classificado como fertilizante orgânico, apresenta estrutura porosa e elevada estabilidade, melhorando as propriedades físicas e químicas do solo (DAI *et al.*, 2020). Rico em carbono, favorece infiltração de água, aeração do solo e desenvolvimento radicular (LAGHARI *et al.*, 2016). Além disso, pode aumentar a disponibilidade de fósforo tanto pela liberação direta de compostos quanto pela adsorção e posterior dessorção de íons fosfatados, reduzindo perdas em solos ácidos (GLASER; LEHMANN; ZECH, 2002). Esse efeito é potencializado pela estimulação da microbiota, que promove a mineralização e solubilização de fósforo orgânico e inorgânico (MUKHERJEE, LAL, 2014; ZHAO *et al.*, 2022).

Os fertilizantes organominerais de fósforo (FOM-P) combinam fontes minerais e orgânicas, aumentando a eficiência do nutriente. Entre suas vantagens estão o baixo custo das matérias-primas orgânicas, como cama de frango, dejetos de suínos e torta de filtro de cana-de-açúcar (BHUNIA *et al.*, 2021), o apelo ambiental e a possibilidade de formulações específicas para cada cultura. Essa combinação favorece a liberação imediata de P da fração mineral e o efeito residual da matéria orgânica incorporada (ESPINOZA *et al.*, 2025). Estudos demonstram que FOM derivados de cama de frango apresentam maior eficácia agrônoma, refletida na absorção de P, no peso seco da parte aérea e no rendimento de grãos, quando comparados a fertilizantes minerais convencionais (FRAZÃO *et al.*, 2021). Enquanto a produção de FOM pode ser uma alternativa viável para substituir fertilizantes minerais fosfatados no crescimento e produção de plantas de milho e soja (FRAZÃO *et al.*,

2021). Além disso, esses produtos podem substituir os fertilizantes fosfatados de origem mineral em culturas como milho e soja (FRAZÃO *et al.*, 2021). A presença de compostos orgânicos ainda reduz a fixação de fósforo em solos tropicais altamente intemperizados, aumentando sua biodisponibilidade para as plantas (SILVA *et al.*, 2023).

Microrganismos do solo na disponibilidade de fósforo

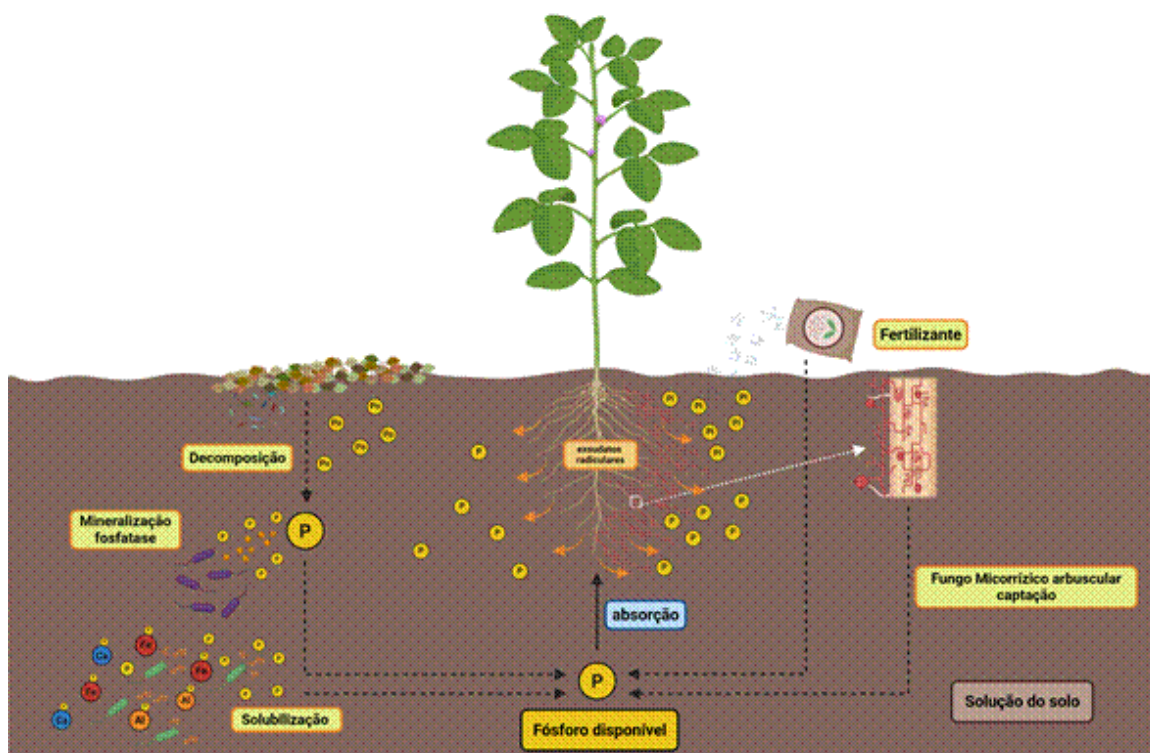
Os solos abrigam grande diversidade de microrganismos, concentrados principalmente na rizosfera, região próxima às raízes e influenciada pela exsudação radicular (AHKAMI *et al.*, 2017) (Figura 1).

As Rizobactérias Promotoras do Crescimento de Plantas (RPCP) destacam-se por estimular o crescimento e o desenvolvimento vegetal por diferentes mecanismos: (i) supressão de microrganismos patogênicos do solo (MENDEZ; GARBEVA; RAAIJMAKERS, 2013); (ii) modulação da sinalização de fitormônios (VERBON; LIBERMAN, 2016); e (iii) incremento da biodisponibilidade de nutrientes (VAN DER HEIJDEN *et al.*, 2008; BACKER *et al.*, 2018; GLICK *et al.*, 2020).

A atuação das rizobactérias na ciclagem de nutrientes impulsionou seu uso como bioinsumos, com potencial para promover a mineralização, solubilização, fixação e transporte de nutrientes às plantas. Algumas espécies mineralizam fosfatos orgânicos complexos por meio da produção de enzimas extracelulares, como fosfoesterases, fosfodiesterases, fitases e fosfolipases (WALPOLA; YOON, 2012). Essas enzimas catalisam monoésteres em faixas de pH específicas (TABATABAI, 1994). Outras espécies solubilizam fósforo inorgânico pela produção de ácidos orgânicos de baixo peso molecular (KUSS *et al.*, 2007; CHAGAS JUNIOR *et al.*, 2010). Esses processos tornam compostos de fósforo insolúveis em formas assimiláveis pelas plantas (KALAYU, 2019). Os principais mecanismos são: (i) redução do pH por ácidos orgânicos ou prótons, (ii) quelação, em que grupos hidroxila e carboxila complexam cátions ligados ao fosfato, e (iii) mineralização de compostos orgânicos por fosfatases (WALPOLA; YOON, 2012; SATYAPRAKASH *et al.*, 2017; KALAYU, 2019).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são microrganismos simbióticos que formam associações com as raízes de cerca de 80% das espécies vegetais, originando a micorriza arbuscular (Figura 2) (FIORILLI *et al.*, 2024). Essa simbiose favorece o crescimento das plantas principalmente pelo fornecimento de fósforo (P).

Figura 3. Interações microbianas na disponibilização de fósforo para as plantas.

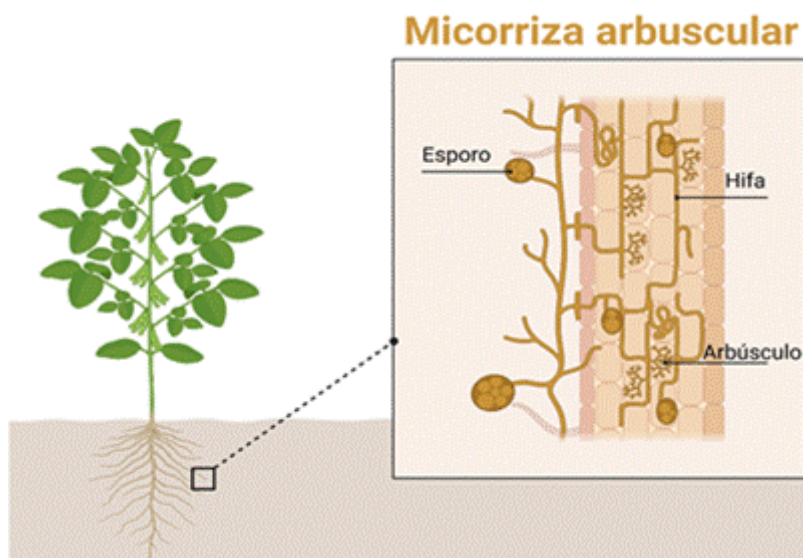


(Figura criada com BioRender.com)

Os FMA ocorrem em praticamente todos os ecossistemas terrestres, incluindo florestas tropicais e temperadas, manguezais, solos agrícolas e pastagens (ROSENDAHL, 2008). Sua comunidade é considerada essencial para a manutenção da biodiversidade e do funcionamento dos ecossistemas, devido à diversidade e multiplicidade de espécies (MIRANDA, 2012).

Os FMA favorecem o aumento do sistema radicular das plantas através de sua rede de hifas, com a simbiose ultrapassando a zona de depleção (resistência alta), e com isto, permitindo a exploração de maior volume de solo e absorvendo maior quantidade de nutrientes e água (MATHUR *et al.*, 2018). Estes micro-organismos contribuem para que as plantas consigam mitigar efeitos adversos de estresses abióticos ou bióticos.

Figura 4. Associação entre planta e fungo micorrízico arbuscular formando a micorriza arbuscular.



(Figura criada com BioRender.com)

Bacillus subtilis* e *Priestia megaterium

Bactérias como *Bacillus subtilis* e *Priestia megaterium* são amplamente reconhecidas pela capacidade de solubilizar elementos fundamentais, como fósforo, potássio e silício, aumentando sua disponibilidade para as plantas. O estudo dessas interações tem ganhado destaque na agricultura moderna, com potencial para melhorar a eficiência no uso de nutrientes, aumentar a resistência das plantas a estresses e a qualidade das colheitas.

A inoculação com rizobactérias apresenta resultados positivos em condições controladas, como ensaios de laboratório e casa de vegetação (SHARMA *et al.*, 2025; DE ZUTTER *et al.*, 2022). Estudos de campo também demonstram efeitos promissores, embora variáveis conforme o tipo de solo, manejo e formulação do inoculante, indicando viabilidade de aplicação em larga escala (RICHARDSON *et al.*, 2011; RAYMOND *et al.*, 2021; PAN *et al.*, 2023).

No Brasil, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em parceria com o setor privado, desenvolveu o inoculante Biomaphos®, produzido em escala comercial. O produto combina cepas bacterianas de *B. subtilis* BRM 2084 e *P. megaterium* BRM 119, selecionadas por sua eficiência na solubilização de fósforo (OLIVEIRA *et al.*, 2020; EMBRAPA, 2019). Desde 2019, o Biomaphos® tem sido aplicado em milhões de hectares, gerando impactos econômicos significativos.

Ensaios em regiões produtoras de milho, realizados em mais de 542 localidades, indicaram ganho médio de 8,6% na produtividade ($\approx 11,9$ sacas ha^{-1}), com custo de aplicação de 1,7 sacas ha^{-1} (EMBRAPA, 2020). Em soja, os resultados mostram ganho médio de 6,3% ($\approx 4,3$ sacas ha^{-1}), com custo de 0,7 sacas ha^{-1} .

Bacillus subtilis é uma das espécies mais estudadas na agricultura e indústria, devido à produção de metabólitos secundários, incluindo ácidos orgânicos envolvidos na solubilização de P (BANIK; DEY, 1983). Essa espécie também forma biofilmes que favorecem a colonização radicular (QIN *et al.*, 2022) e produz endósporos, responsáveis pela resistência a condições adversas, como calor, radiação ultravioleta, agentes oxidantes e pH elevado (NICHOLSON *et al.*, 2000).

De modo semelhante, *Priestia megaterium* solubiliza fosfatos naturais do solo, aumentando a disponibilidade de P para as plantas (BERGEY; HOLT, 2000). Cepas como IHB B 7164 apresentaram crescimento e sobrevivência em diferentes condições ambientais, demonstrando resistência a estresses variados (THAKUR *et al.*, 2024). Estudos genômicos identificaram genes relacionados à tolerância a frio, calor e estresses osmótico e oxidativo, reforçando o potencial dessa espécie em condições de campo (THAKUR *et al.*, 2024).

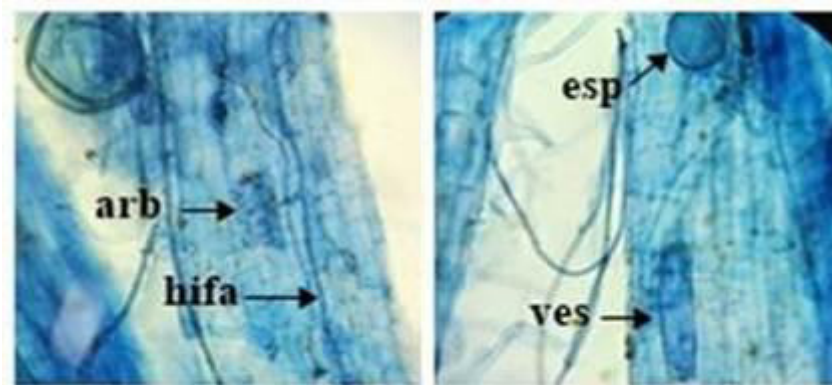
Essas características conferem à *P. megaterium* potencial como inoculante microbiano de amplo espectro, justificando sua aplicação em biotecnologia agrícola (SHARMA *et al.*, 2025; THAKUR *et al.*, 2024). Além disso, evidências recentes indicam que sua inoculação pode aumentar a eficiência de uso do fósforo, por meio da produção de fitohormônios e da indução de resistência sistêmica em plantas (SHARMA *et al.*, 2025).

Fungos Micorrízicos Arbusculares

A associação micorrízica aumenta a absorção de nutrientes pelas plantas, sobretudo o fósforo, melhora a eficiência de uso de fertilizantes fosfatados em solos de baixa fertilidade e potencializa o aproveitamento tanto do P natural do solo quanto do aplicado via adubação (MIRANDA, 2012).

As raízes colonizadas por fungos micorrízicos arbusculares (FMA) apresentam crescimento intracelular de hifas no tecido cortical, que se diferenciam em arbúsculos — estruturas responsáveis pela troca bidirecional de fósforo e carboidratos entre fungo e planta. Também podem formar vesículas e células auxiliares, associadas ao armazenamento de nutrientes (Figuras 1 e 3). Além disso, as hifas ampliam o alcance da raiz no solo, favorecendo a movimentação de microrganismos, como bactérias, e a mineralização de fósforo orgânico em zonas distantes da rizosfera (VIEIRA *et al.*, 2025; KAMEOKA *et al.*, 2019; MAIA, 2010; JIANG *et al.*, 2021).

Figura 5. Raízes de plantas associadas com fungos micorrízicos arbusculares.



Arb=arbúsculo, esp=esporo e ves=vesícula. Fotos de arquivo pessoal.

No Brasil, a empresa NovaTero foi a primeira a obter registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para comercializar inoculante à base do FMA *Rhizophagus intraradices*, voltado às culturas de milho e soja.

Ensaios demonstram que plantas de milho inoculadas com FMA em condições de baixa disponibilidade de P apresentam maior absorção, eficiência de uso e produtividade (WAHID *et al.*, 2020; QIN *et al.*, 2022; BATTINI *et al.*, 2017; HOU *et al.*, 2021; WANG *et al.*, 2020; PIOUFLE *et al.*, 2019). Resultados semelhantes foram observados em trigo, quando a inoculação de FMA foi associada a bactérias solubilizadoras de fosfato ou a fontes alternativas de P (WAHID *et al.*, 2020; QIN *et al.*, 2022; BAGYARAJ *et al.*, 2015). Em soja, a inoculação em condições de adubação reduzida aumentou a eficiência de uso do nutriente e a produtividade (THIOUB *et al.*, 2019). Já em jambu, a inoculação de *Rhizophagus clarus* promoveu maior peso seco da parte aérea e incremento nos teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio (VIEIRA *et al.*, 2021).

Rizobactérias e fungos micorrízicos arbusculares configuram alternativas sustentáveis para ampliar a disponibilidade de fósforo (P) nos solos agrícolas (Figura 1). A interação desses microrganismos reduz a dependência de fertilizantes minerais, aumenta a eficiência no uso de nutrientes e contribui para ganhos de produtividade de forma economicamente viável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHKAMI, A. H.; WHITE III, R. A.; HANDAKUMBURA, P. P.; JANSSON, C. Rhizosphere engineering: enhancing sustainable plant ecosystem productivity. **Rhizosphere**, v. 3, p. 233-243, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2017.04.012>

ARNON, D. I.; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant Physiology**, v. 14, n. 2, p. 371-375, 1939. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.14.2.371>

- BACKER, R.; ROKEM, J. S.; ILANGUMARAN, G.; LAMONT, J.; PRASLICKOVA, D.; RICCI, E.; SMITH, D. L. Plant growth-promoting rhizobacteria: context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1473, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01473>
- BAGYARAJ, D. J.; SHARMA, M. P.; MAITI, D. Phosphorus nutrition of crops through arbuscular mycorrhizal fungi. **Current Science**, v. 108, n. 7, p. 1288-1293, 2015.
- BANIK, S.; DEY, B. K. Phosphate-solubilizing potentiality of the microorganisms capable of utilizing aluminium phosphate as a sole phosphate source. **Zentralblatt für Mikrobiologie**, v. 138, n. 1, p. 17-23, 1983.
- BATTINI, F.; GRØNLUND, M.; AGNOLUCCI, M.; GIOVANNETTI, M.; JAKOBSEN, I. Facilitation of phosphorus uptake in maize plants by mycorrhizosphere bacteria. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 4686, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04959-0>
- BERGEY, D. H.; HOLT, J. G. **Bergey's manual of determinative bacteriology**. 9. ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 2000.
- BHUNIA, S.; BHOWMIK, A.; MALLICK, R.; MUKHERJEE, J. Agronomic efficiency of animal-derived organic fertilizers and their effects on biology and fertility of soil: A review. **Agronomy**, v. 11, n. 5, p. 823, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11050823>
- BORDIN, A. V.; SCHWENGBER, R. P.; REZENDE, M. K. A.; LAVA, C. T.; THOMAZ, D. R.; FRANCISCO, J. P. Cama de frango como alternativa sustentável de resíduo sólido orgânico na produção de hortaliças. **Journal of Agricultural Science**, Maringá, v. 46, p. e78506, 2024.
- BRASIL. Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o Regulamento da Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de insumos agropecuários, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 15 jan. 2004. Seção 1, p. 1. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2004/d4954.htm. Acesso em: 5 set. 2025.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **As reservas minerais para fertilizantes no Brasil**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/plano-nacional-de-fertilizantes/as-reservas-minerais-para-fertilizantes-no-brasil>. Acesso em: 2 set. 2025.
- CARVALHO, E.; REZENDE, P. M.; ANDRADE, M. J.; PASSOS, E. M.; OLIVEIRA, J. A. Mineral fertilizer and organic waste on soybean crop and soil nutrients. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 930-938, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000400015>
- CHAGAS JUNIOR, A. F.; OLIVEIRA, L. A.; OLIVEIRA, A. N.; WILLERDING, A. L. Capacidade de solubilização de fosfatos e eficiência simbiótica de rizóbios isolados de solos da Amazônia. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 2, p. 359-366, 2010. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i2.3185>

DAI, Y.; ZHENG, H.; JIANG, Z.; XING, B. Combined effects of biochar properties and soil conditions on plant growth: A meta-analysis. **Science of The Total Environment**, v. 713, p. 136635, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136635>

DE ARAUJO SOBREIRA, H.; FERREIRA, M. V.; FARIA, A. M.; ASSUNÇÃO, R. M. N. Commercial organomineral fertilizer produced through granulation of a blend of monoammonium phosphate and pulp and paper industry waste post-composting. **Industrial Crops and Products**, v. 222, p. 119816, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.119816>

DE ZUTTER, N.; AMEYE, M.; BEKAERT, B.; VERWAEREN, J.; DE GELDER, L.; AUDENAERT, K. Uncovering new insights and misconceptions on the effectiveness of phosphate solubilizing rhizobacteria in plants: a meta-analysis. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 858804, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.858804>

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Inoculação reduz custos com fertilizantes na soja**. 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/46716731/inoculacao-reduz-custos-com-fertilizantes-na-soja>. Acesso em: 4 ago. 2025.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Produto com tecnologia brasileira pode reverter dependência externa por adubos fosfatados**. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/45773416/produto-com-tecnologia-brasileira-pode-reverter-dependencia-externa-por-adubos-fosfatados>. Acesso em: 26 ago. 2025.

ESPINOZA, A. L. D. F.; LUZ, J. H. S. D.; TEZOTTO, T.; PAVINATO, P. S. Sewage sludge-based organomineral fertilizer improves phosphorus efficiency in *Urochloa brizantha*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 49, e0240124, 2025. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcS20240124>

FIORILLI, V.; MARTÍNEZ-MEDINA, A.; POZO, M. J.; LANFRANCO, L. Plant immunity modulation in arbuscular mycorrhizal symbiosis and its impact on pathogens and pests. **Annual Review of Phytopathology**, v. 62, p. 341-361, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-121423-042014>

FRAZÃO, J. J.; BENITES, V. M.; PIEROBON, V. M.; RIBEIRO, J. V. S.; LAVRES, J. A poultry litter-derived organomineral phosphate fertilizer has higher agronomic effectiveness than conventional phosphate fertilizer applied to field-grown maize and soybean. **Sustainability**, v. 13, n. 21, p. 11635, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su132111635>

GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, n. 4, p. 219–230, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0466-4>

GLICK, B. R. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. **Scientifica**, v. 2012, p. 963401, 2012. DOI: <https://doi.org/10.6064/2012/963401>

GYANESHWAR, P.; KUMAR, G. N.; PAREKH, L. J.; POOLE, P. S. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. **Plant and Soil**, v. 245, n. 1, p. 83-93, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1020663916259>

HOU, L.; ZHANG, X.; FENG, G.; LI, Z.; ZHANG, Y.; CAO, N. Arbuscular mycorrhizal enhancement of phosphorus uptake and yields of maize under high planting density in the black soil region of China. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1100, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80074-x>

IGUAL, J. M.; VALVERDE, A.; CERVANTES, E.; VELÁZQUEZ, E. Phosphate-solubilizing bacteria as inoculants for agriculture: use of updated molecular techniques in their study. **Agronomie**, v. 21, n. 6-7, p. 561-568, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1051/agro:2001145>

JIANG, F.; ZHANG, L.; ZHOU, J.; GEORGE, T. S.; FENG, G. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance mineralisation of organic phosphorus by carrying bacteria along their extraradical hyphae. **New Phytologist**, v. 230, n. 1, p. 304-315, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.17081>

KALAYU, G. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers. **International Journal of Agronomy**, v. 2019, p. 4917256, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/4917256>

KAMEOKA, H.; MAEDA, T.; OKUMA, N.; KAWAGUCHI, M. Structure-specific regulation of nutrient transport and metabolism in arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Cell Physiology**, v. 60, n. 10, p. 2272-2281, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1093/pcp/pcz122>

KHATOON, Z.; HUANG, S.; RAFIQUE, M.; FAKHAR, A.; KAMRAN, M. A.; SANTOYO, G. Unlocking the potential of plant growth-promoting rhizobacteria on soil health and the sustainability of agricultural systems. **Journal of Environmental Management**, v. 273, p. 111118, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111118>

KUSS, A. V.; KUSS, V. V.; LOVATO, T.; FLÔRES, M. L. Fixação de nitrogênio e produção de ácido indolacético in vitro por bactérias diazotróficas endofíticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 10, p. 1459-1465, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007001000013>

LAGHARI, M.; XIAO, B.; JOGI, Q.; CHEN, Z.; FAZAL, S.; HU, M.; MIRJAT, M. S.; ABUDI, Z. N.; GUO, D.; KANDHRO, M. N.; NAIDU, R.; HU, Z. Recent developments in biochar as an effective tool for agricultural soil management: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, n. 15, p. 4840–4849, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.7753>

LEMOS, M. S.; MAIA, E.; FERREIRA, E.; STACHIW, R. Uso da cama de frango como adubo na agricultura. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, Rolim de Moura, v. 3, n. 1, p. 57-68, 2014.

LI, D.; WEI, H.; ZOU, Y.; WANG, X.; BAO, Q.; DUAN, R.; HE, H. The role of mineral mediation in organic carbon preservation and phosphorus removal in saline lake sediments

of the Tibetan Plateau. **Journal of Hydrology**, v. 638, p. 133568, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.133568>

MAIA, L. C.; SILVA, F. S. B.; GOTO, B. T. Estrutura, ultraestrutura e germinação de glomerosporos. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (Ed.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: Editora UFLA, 2010. p. 76-118.

MALHOTRA, H.; PANDEY, R.; SHARMA, S. Phosphorus nutrition: plant growth in response to deficiency and excess. In: RAI, V.; SAIRAM, R.; RUSU, A. (Ed.). **Plant nutrients and abiotic stress tolerance**. Singapore: Springer, 2018. p. 171-190. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-9044-8_7

MATHUR, S.; SHARMA, M. P.; JAJOO, A. Improved photosynthetic efficacy of maize (*Zea mays*) plants with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) under high temperature stress. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 180, p. 149–154, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2018.02.002>

MCGILL, W. B.; COLE, C. V. Comparative aspects of cycling of organic C, N, S and P through soil organic matter. **Geoderma**, v. 26, n. 4, p. 267–286, 1981. DOI: [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(81\)90024-0](https://doi.org/10.1016/0016-7061(81)90024-0)

MENDEZ, R.; GARBEVA, P.; RAAIJMAKERS, J. M. The rhizosphere microbiome: significance of plant beneficial, plant pathogenic, and human pathogenic microorganisms. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 37, n. 5, p. 634–663, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/1574-6976.12028>

MIRANDA, J. C. C. **Cerrado: micorriza arbuscular: ocorrência e manejo**. 2. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2012.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729 p.

MUKHERJEE, A.; LAL, R. Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas emissions. **Agronomy**, v. 4, n. 2, p. 398–423, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy3020313>

NICHOLSON, W. L.; MUNAKATA, N.; HORNECK, G.; MELOSH, H. J.; SETLOW, P. Resistance of *Bacillus* endospores to extreme terrestrial and extraterrestrial environments. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 64, n. 3, p. 548-572, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1128/MMBR.64.3.548-572.2000>

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG: UFV, 1999.

OLIVEIRA, C. A.; SANTOS, J. G. D.; SOARES, T. S.; GOMES, E. A.; LANA, U. G. P.; MARRIEL, I. E. **Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) nas culturas de milho e soja**. Sete

Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 25 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 247).

PANTANO, G.; GROSSELI, G. M.; MOZETO, A. A.; FADINI, P. S. Sustainability in phosphorus use: a question of water and food security. **Química Nova**, v. 39, n. 6, p. 732-740, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20160086>

PIOUFLE, O.; GANOUDI, M.; CALONNE-SALMON, M.; DHAOU, F. B.; DECLERCK, S. Rhizophagus irregularis MUCL 41833 improves phosphorus uptake and water use efficiency in maize plants during recovery from drought stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 897, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00897>

PRADHAN, N.; SUKLA, L. B. Solubilization of inorganic phosphates by fungi isolated from agriculture soil. **African Journal of Biotechnology**, v. 5, n. 10, p. 850-854, 2006.

PRAKASH, O.; SHARMA, R.; RAHMANI, S.; TIWARI, P.; YADAV, A.; NIMJE, M. Role of microorganisms in plant nutrition and health. In: RAKSHIT, A.; SINGH, H. B.; SEN, A. (Ed.). **Nutrient use efficiency: from basics to advances**. New Delhi: Springer, 2015. p. 125-161. DOI: https://doi.org/10.1007/978-81-322-2169-2_9

QIN, Y.; ANGELINI, L. L.; CHAI, Y. *Bacillus subtilis* cell differentiation, biofilm formation and environmental prevalence. **Microorganisms**, v. 10, n. 6, p. 1108, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms10061108>

QIN, Z.; PENG, Y.; YANG, G.; FENG, G.; CHRISTIE, P.; ZHOU, J.; ZHANG, J.; LI, X.; GAI, J. Relationship between phosphorus uptake via indigenous arbuscular mycorrhizal fungi and crop response: A ³²P-labeling study. **Applied Soil Ecology**, v. 180, p. 104603, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104603>

RAYMOND, N. S.; GÓMEZ-MUÑOZ, B.; VAN DER BOM, F. J.; NYBROE, O.; JENSEN, L. S.; MÜLLER-STÖVER, D. S.; RICHARDSON, A. E. Phosphate-solubilising microorganisms for improved crop productivity: a critical assessment. **New Phytologist**, v. 229, n. 3, p. 1268-1277, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.16924>

RAZAQ, M.; ZHANG, P.; SHEN, H. Influence of nitrogen and phosphorous on the growth and root morphology of Acer mono. **PLoS One**, v. 12, n. 2, p. e0171321, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171321>

RICHARDSON, A. E.; SIMPSON, R. J. Soil microorganisms mediating phosphorus availability. **Plant Physiology**, v. 156, n. 3, p. 989-996, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.111.175448>

ROSENDAHL, S. Communities, populations and individuals of arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v. 178, n. 2, p. 253-266, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02378.x>

SASABUCHI, I. T. M.; KRIEGER, K. S.; NUNES, R. S.; FERREIRA, A. C.; XAVIER, G. T. M.; URZEDO, A. L.; CARVALHO, W. A.; FADINI, P. S. Sustainability in phosphorus use: a

bibliographic review focusing on the current situation in the state of São Paulo, Brazil. **Química Nova**, v. 46, n. 2, p. 185-198, 2023. DOI: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170967>

SATYAPRAKASH, M.; NIKITHA, T.; REDDI, E. U. B.; SADHANA, B.; VANI, S. S. Phosphorous and phosphate solubilising bacteria and their role in plant nutrition. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, n. 4, p. 2133-2144, 2017. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.604.251>

SHARMA, H.; GUPTA, S.; CHAUHAN, R.; TRIPATHI, D. K.; PANDEY, S. Phosphorus solubilizing *Priestia Megaterium* AIOASP1 enhances tomato growth and wilt resistance through antioxidant gene regulation. **Plant Science**, v. 350, p. 112636, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2025.112636>.

SILVA, C. A.; CERRI, C. E. P.; ANDRADE, C. A.; NETO, L. M.; BETTIOL, W. Matéria orgânica do solo: ciclo, compartimentos e funções. In: BETTIOL, W. et al. (Ed.). **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. p. 17-47.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; ANGLE, J. S.; BOTTOMLEY, P. S. (Ed.). **Methods of soil analysis: part 2 microbiological and biochemical properties**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 775–833. (SSSA Book Series, 5).

TAKAHASHI, S.; ANWAR, M. R. Wheat grain yield, phosphorus uptake and soil phosphorus fraction after 23 years of annual fertilizer application to an Andosol. **Field Crops Research**, v. 101, n. 2, p. 160-171, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.11.003>

THAKUR, R.; DHAR, H.; SWARNKAR, M. K.; SONI, R.; SHARMA, K. C.; SINGH, A. K.; GULATI, A. Understanding the molecular mechanism of PGPR strain *Priestia megaterium* from tea rhizosphere for stress alleviation and crop growth enhancement. **Plant Stress**, v. 12, p. 100494, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100494>

THIOUB, M.; EWUSI-MENSAH, N.; SARKODIE-ADDO, J.; ADJEI-GYAPONG, T. Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation enhances phosphorus use efficiency and soybean productivity on a Haplic Acrisol. **Soil and Tillage Research**, v. 192, p. 174-186, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.05.001>

VERBON, E. H.; LIBERMAN, L. M. Beneficial microbes affect endogenous mechanisms controlling root development. **Trends in Plant Science**, v. 21, n. 3, p. 218-229, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.01.013>

VIEIRA, C. K.; MARASCALCHI, M. N.; ROZMOŠ, M.; BENADA, O.; BELOVA, V.; JANSÁ, J. Arbuscular mycorrhizal fungal highways – What, how and Why? **Soil Biology and Biochemistry**, v. 202, p. 109702, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2024.109702>

VIEIRA, M. E.; FREITAS, M. S. M.; PEÇANHA, D. A.; LIMA, T. C.; MARTINS, M. A.; VIEIRA, I. J. C. V. Arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus in spilanthol and phenolic compound yield in jambu plants. **Horticultura Brasileira**, v. 39, n. 2, p. 192-198, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-9130-2020-0000>

org/10.1590/s0102-0536-20210212

WAHID, F.; FAHAD, S.; DANISH, S.; ADNAN, M.; YUE, Z.; SAUD, S.; SIDDIQUI, M.; BRTNICKÝ, M.; HAMMERSCHMIEDT, T.; DATTA, R. Sustainable management with mycorrhizae and phosphate solubilizing bacteria for enhanced phosphorus uptake in calcareous soils. **Agriculture**, v. 10, n. 8, p. 334, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10080334>

WALPOLA, B. C.; YOON, M. Prospectus of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus availability in agricultural soils: a review. **African Journal of Microbiology Research**, v. 6, n. 37, p. 6600-6605, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJMR12.889>

WANG, X.; HOFFLAND, E.; FENG, G.; KUYPER, T. W. Arbuscular mycorrhizal symbiosis increases phosphorus uptake and productivity of mixtures of maize varieties compared to monocultures. **Journal of Applied Ecology**, v. 57, n. 11, p. 2203-2211, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13739>

WINIWARTER, V. Environmental history of soils. In: AGNOLETTI, M.; NEVILLE, S. (Ed.). **The basic environmental history**. Cham: Springer, 2014. p. 79-119. (Environmental History, 4). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-09180-8_3

YADAV, A.; YADAV, K. Regulation of plant-microbe interactions in the rhizosphere for plant growth and metabolism: role of soil phosphorus. In: HAKS, A. (Ed.). **Phosphorus in soils and plants**. London: IntechOpen, 2024. p. 1-18. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.112572>

ZHAO, Y.; LIN, Z.; SHAN, S.; YAO, G.; XU, L.; PING, L.; WANG, X.; JIANG, Y.; JIN, Z. Advances in the effects of biochar on microbial ecological function in soil and crop quality. **Sustainability**, v. 14, n. 16, p. 10411, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su141610411>

ZOU, T.; ZHANG, X.; DAVIDSON, E. A. Global trends of cropland phosphorus use and sustainability challenges. **Nature**, v. 611, n. 7934, p. 81-87, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05220-z>

***Lasiodiplodia theobromae*: UMA AMEAÇA INVISÍVEL AO CULTIVO DE TECA NO ESTADO DO MATO GROSSO**

Gilcianny Pignata Cavalcante

Leonarda Grillo Neves

Antonio Marcos Chimello

Sabrina Cassaro

Maria do Socorro Bezerra de Araújo

Antonio André da Silva Alencar

Kaliane Zaira Camacho Maximiano Cruz

Os organismos fitopatogênicos, embora constituam uma minoria entre os microrganismos existentes na natureza — sendo a doença, portanto, uma exceção e não a regra —, exercem papel significativo nos sistemas de produção florestal e agrícola. Sua ação pode ocasionar perdas expressivas de produtividade, sobretudo em cultivos comerciais quando conduzidos em monocultivo, nos quais a baixa diversidade genética favorece maior pressão de seleção e disseminação dos patógenos.

CURIOSIDADE

Você sabia que o maior organismo vivo do mundo é um fungo?

O fungo *Armillaria ostoyae* é reconhecido como o maior organismo vivo único em biomassa da Terra, localizado na Floresta Nacional de Malheur, no estado de Oregon, Estados Unidos. Estima-se que apresente massa entre 7.500 e 35.000 toneladas, sendo também considerado um dos organismos mais antigos já descritos, com idade estimada entre 2.400 e 8.650 anos. Esse indivíduo ocupa uma área aproximada de 1.000 hectares, configurando-se como um dos maiores organismos vivos do planeta. Além de atuar como decompositor nos ecossistemas florestais, *A. ostoyae* também apresenta comportamento patogênico, causando podridão radicular em árvores coníferas, o que pode resultar em mortalidade em massa e na degradação de extensas áreas florestais (USDA, 2025).

Figura 1. Estrutura reprodutiva do fungo *Armillaria ostoyae*. Foto: Shahenda Ayman.

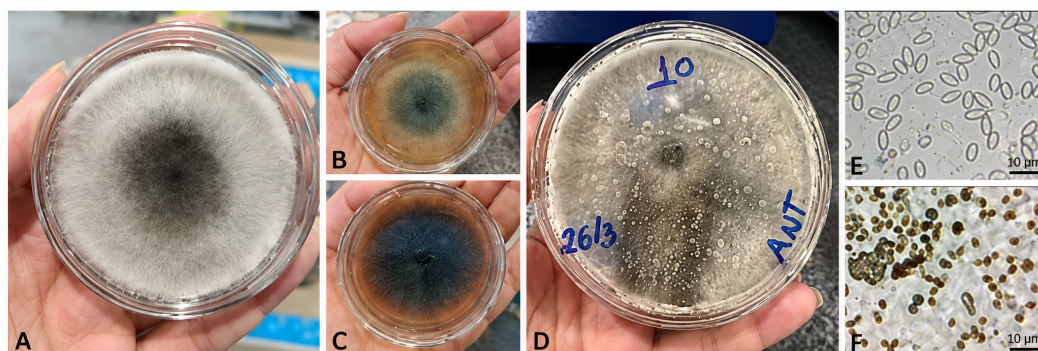


Lasiodiplodia theobromae

O fungo *Lasiodiplodia theobromae* (Patouillard) Griffon & Maublanc, é o estado assexual (anamorfo) do fungo *Botryosphaeria rhodina* (Berk. & M.A. Curtis) Arx. Este microrganismo, anteriormente considerado um patógeno oportunista, tem se destacado atualmente por causar perdas severas em diferentes culturas. Trata-se de um fungo ascomiceto da família Botryosphaeriaceae, amplamente distribuído em regiões tropicais e subtropicais onde se comporta como um patógeno de solo hemibiotrófico e está associado a doenças devastadoras em árvores e culturas perenes, como o cancro, seca de ramos e podridões de frutos, raízes e colo. Apresenta elevada plasticidade ecológica e notável agressividade e como patógeno de madeira tem uma ampla gama de hospedeiros, colonizando mais de 500 espécies, incluindo frutíferas, ornamentais e florestais, como eucalipto e teca (ÚRBEZ-TORRES et al., 2008).

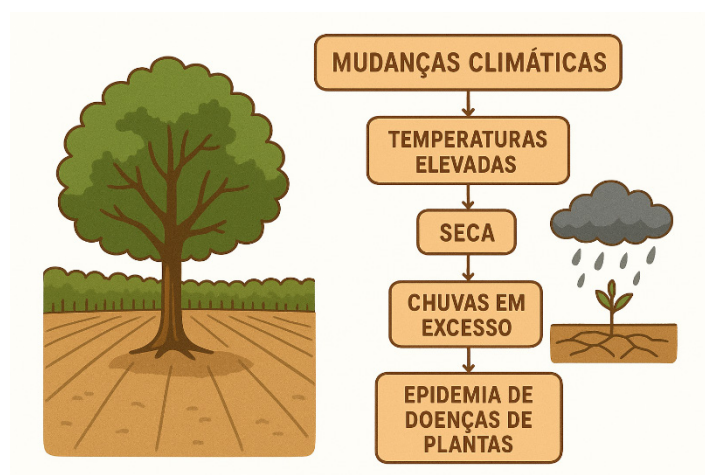
Em meio de cultura, o micélio apresenta crescimento inicialmente branco a cinza-claro, tornando-se progressivamente mais escuro ao longo dos dias, com a formação de pequenas estruturas em forma de vaso, de coloração escura, conhecidas como picnídios, que surgem entre 20 e 30 dias de cultivo. Os conídios (esporos assexuados), produzidos no interior dos picnídios, são hialinos quando imaturos, tornando-se castanho-escuros, de parede espessa e estriada à medida que amadurecem, com a formação tardia de um septo. A fase sexuada é rara em condições de campo, e a esporulação ocorre predominantemente sobre lesões, resíduos, frutos ou galhos mortos (ATALLAH et al. 2024; SLIPPERS; WINGFIELD, 2007).

Figura 2. A – Características morfológicas de *Lasiodiplodia theobromae* em meio de cultura; B, C – Crescimento micelial de coloração cinza-escura após a maturação da cultura; D – Picnídios; E – Conídios hialinos e imaturos; F – Conídios maduros, de coloração escura e septados.



O fungo se dissemina por conídios espalhados por respingos de chuva, vento de curta distância, ferramentas de poda, insetos (coleobrocas) e mudas infectadas (SLIPPERS; WINGFIELD, 2007). As temperaturas ótimas de crescimento e infecção estão entre 25 e 35 °C, sendo a tolerância a altas temperaturas uma vantagem na estação seca em regiões tropicais. Com o aumento das temperaturas decorrente das mudanças climáticas, o comportamento de *L. theobromae* em relação ao seu hospedeiro vegetal tem se alterado, o que tem despertado maior interesse na investigação dos mecanismos metabólicos e das respostas do fungo sob condições de calor elevado (SHILONG et al., 2025).

Figura 3. Influência das mudanças climáticas nas doenças de plantas

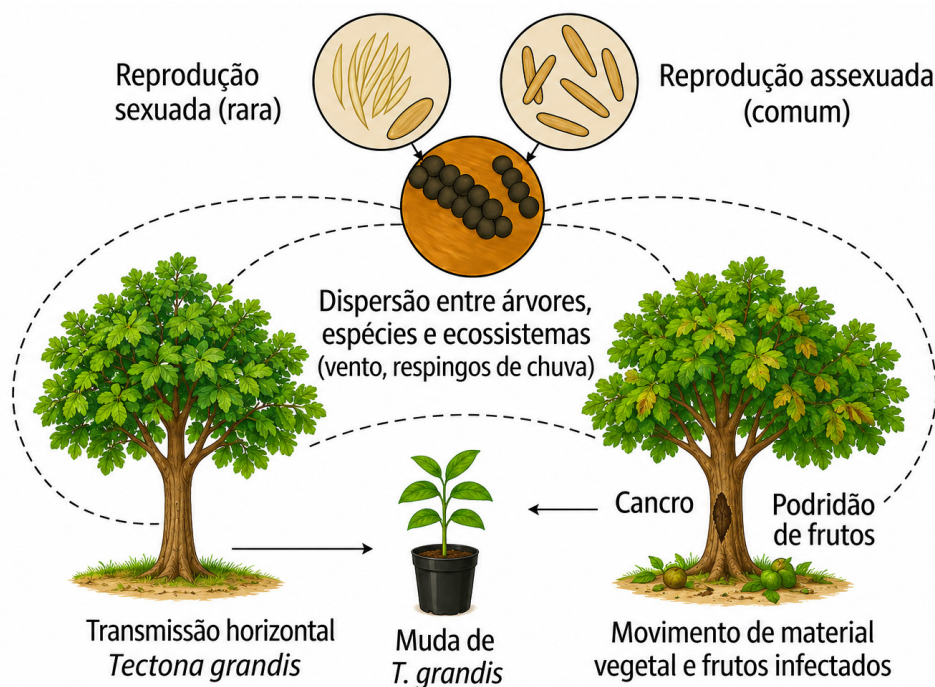


Estudos têm mostrado o efeito de diferentes temperaturas sobre a atividade e a termostabilidade das enzimas extracelulares produzidas por *L. theobromae*. Verificou-se que a variação térmica influencia de maneira distinta a expressão gênica, a atividade enzimática e a estabilidade térmica de diversas enzimas extracelulares. Contribuindo significativamente para a compreensão das características biológicas e dos mecanismos

de virulência do fungo, especialmente sua tendência a infectar culturas lenhosas (FÉLIX et al., 2018). Pesquisas adicionais demonstraram que a virulência de *L. theobromae* está associada à taxa de crescimento micelial e à sua capacidade de responder a diferentes condições, como fontes de carbono, estresse osmótico, pH alcalino e temperaturas elevadas. Portanto, sugerindo que a virulência micelial está intimamente relacionada ao metabolismo fúngico e a fatores ambientais de estresse. Além disso, tanto a luz quanto a escuridão podem influenciar o comportamento do fungo, provavelmente por meio de alterações em seu metabolismo micelial (SHILONG et al., 2025).

Plantas infectadas por esse patógeno podem manifestar diversos sintomas, como seca-descendente (die-back), formação de cancrs em ramos, caules e raízes, além de lesões em estacas, folhas, frutos e sementes. Em estágios mais avançados, pode levar à morte de mudas, enxertos e até de plantas adultas. Destaca-se ainda sua capacidade de colonizar frutos, o que o torna um dos principais agentes associados a perdas pós-colheita (FREIRE et al., 2004). Esse fungo também pode permanecer de forma assintomática em ramos e troncos, sendo ativado em situações de estresse do hospedeiro, como déficit hídrico, exposição excessiva ao sol, ferimentos ou podas, resultando no aparecimento de cancrs decorrentes da necrose cambial progressiva.

Figura 4. Ciclo de reprodução e dispersão de *Lasiodiplodia theobromae* em *Tectona grandis*.



INTERESSE CIENTÍFICO

Você sabia que *L. theobromae* pode causar doenças em humanos?

Lasiodiplodia theobromae é um patógeno humano oportunista, associado a infecções de diferentes graus de severidade, como micose subcutânea, ceratite, rinossinusite e sinusite invasiva. Contudo, os fatores etiológicos e os mecanismos envolvidos na sua patogenicidade ainda não estão totalmente elucidados, impondo desafios relevantes para estratégias de prevenção e controle (RODRIGUEZ et al., 2018; SHILONG et al., 2025).

Tectona grandis

A teca (*Tectona grandis* L.f.) é uma espécie florestal tropical de elevado valor econômico, originária do sudeste da Ásia. Sua madeira é amplamente reconhecida pelas propriedades físico-mecânicas superiores, destacando-se pela alta durabilidade, resistência à umidade, estabilidade dimensional e aspecto estético singular, características que a consolidam como uma das madeiras nobres mais valorizadas no mercado internacional. Essas qualidades, somadas à ampla gama de aplicações, explicam a crescente demanda mundial pela espécie.

No Brasil, a teca é classificada como exótica, mas seu cultivo tem se expandido expressivamente nas últimas décadas, com predominância no estado de Mato Grosso, que concentra a maior área plantada do país. A produção ocorre principalmente em monocultivos, sistema que, embora proporcione padronização, pode aumentar a suscetibilidade a pragas e doenças (BUENO et al., 2024). Apesar disso, a espécie tem se mostrado estratégica na recuperação de áreas degradadas por atividades antrópicas, além de contribuir para o fortalecimento socioeconômico de comunidades rurais, por meio da geração de emprego e renda em diferentes etapas da cadeia produtiva — desde o plantio até o beneficiamento e a comercialização da madeira. Esse contexto assume especial relevância em regiões com baixos indicadores de desenvolvimento humano, ressaltando a importância econômica e social da teca no cenário brasileiro (TAKIZAWA et al., 2022).

FASCÍNIO CIENTÍFICO

Você sabia que as florestas de teca podem capturar carbono e ajudar o planeta?

A *Teak Resources Company* (TRC) consolidou-se como o maior produtor e fornecedor de teca sustentável no mercado internacional, oferecendo madeira de alto valor econômico, reconhecida por sua capacidade de sequestrar carbono. Há mais de 20 anos, a empresa transforma pastagens degradadas em plantações de teca, destacando-se pela implantação e gestão sustentável de florestas no Brasil e tornando-se uma referência global em ativos florestais dessa espécie. Além de produzir madeira de qualidade superior, a TRC se diferencia pela geração de créditos de carbono, gerando mais de 6 milhões de toneladas

de CO₂, antecipando-se às demandas globais por soluções de baixo impacto ambiental (TRC, 2024).

Apesar do elevado potencial econômico, o cultivo da teca enfrenta sérios desafios fitossanitários, sendo o cancro da teca, causado pelo fungo *Lasiodiplodia theobromae*, uma das principais doenças da cultura. Destaca-se pela gravidade dos danos, uma vez que as deformações no fuste depreciam a qualidade da madeira e podem torná-la inviável para



a comercialização. Além de comprometer a rentabilidade da produção, o cancro provoca perdas expressivas de produtividade e reduz a longevidade dos plantios. Os sintomas caracterizam-se por lesões protuberantes no caule, com dimensões variando de 3 a 20 cm de comprimento e de 2 a 23 cm de largura, que frequentemente resultam na morte do meristema apical e no desprendimento da casca, sobretudo em regiões submetidas a podas (TAKIZAWA et al., 2022).

Figura 4. A- Aparência geral da árvore afetada; B- Sintomas do cancro da teca: lesões no fuste da árvore; C- Danos provocados na madeira. Foto: Joamir Barbosa Filho.



O controle desse patógeno é dificultado por sua ampla gama de hospedeiros, que funcionam como fontes primárias de inóculo. Além disso, apesar de ser conhecido como microrganismo fitopatogênico, *L. theobromae* pode sobreviver de forma endofítica em tecidos vegetais, especialmente nos lenhosos, bem como em resíduos culturais e no solo, onde seus picnídios podem permanecer viáveis por meses (SLIPPERS; WINGFIELD, 2007).

O manejo integrado envolve o uso de mudas saudáveis, práticas de poda seguras, redução de estresses e genótipos resistentes. O controle químico é limitado, com fungicidas protetores e sistêmicos sendo usados em situações pontuais, principalmente em viveiros ou após podas. O biocontrole com antagonistas como *Trichoderma* spp. e a indução de

defesas com fosfitos mostram resultados promissores (BORGES et al., 2018). Programas de melhoramento genético podem explorar a variabilidade intraespecífica de teca quanto à resistência. A presença do cancro evidencia, portanto, a urgência no desenvolvimento de estratégias de manejo sustentáveis que garantam a viabilidade econômica da cultura a longo prazo.

Nesse contexto, a resistência genética tem se consolidado como uma das ferramentas mais promissoras, permitindo a seleção e utilização de genótipos mais tolerantes a patógenos, reduzindo a dependência de defensivos químicos e contribui para práticas florestais ambientalmente mais equilibradas. O avanço das biotecnologias amplia as possibilidades de manejo da cultura. Estudos de associação genômica ampla (GWAS – *Genome-Wide Association Studies*) vêm sendo empregados para aprofundar o conhecimento sobre a base genética de características de interesse econômico na teca. A análise genotípica tem permitido identificar variantes genéticas, como os SNPs (*Single Nucleotide Polymorphisms*), que estão associadas a atributos fenotípicos específicos, incluindo densidade, resistência mecânica e uniformidade estrutural da madeira (ANJOS et al., 2023). Esses resultados têm acelerado o processo de melhoramento genético, tornando a seleção de materiais superiores mais precisa e eficiente, além de integrar ferramentas moleculares às práticas tradicionais de silvicultura.

Outro aspecto fundamental para a consolidação da cadeia produtiva da teca é a adoção de certificações florestais, como a FSC (*Forest Stewardship Council*), que asseguram que a madeira é produzida em conformidade com padrões internacionais de responsabilidade ambiental, social e econômica. A certificação é uma exigência crescente nos mercados consumidores, funcionando não somente como um selo de qualidade, mas também como garantia de que o manejo da espécie está alinhado a princípios de sustentabilidade (TRC, 2024).



Diante desse panorama, o fortalecimento da cadeia produtiva da teca no Brasil depende da integração entre inovação tecnológica, práticas silviculturais sustentáveis e políticas de incentivo à certificação florestal. A combinação de avanços em genética e biotecnologia com estratégias de manejo fitossanitário e de certificação é essencial para consolidar um modelo de produção eficiente, resiliente e ambientalmente responsável. Assim, a teca reafirma sua importância como recurso estratégico, tanto para o mercado florestal quanto para o desenvolvimento socioeconômico das regiões produtoras, contribuindo para uma gestão florestal mais moderna e sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BORGES, R. C. F.; ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. G. et al. A trunk canker disease of *Tectona grandis* induced by *Lasiodiplodia theobromae* in Brazil. *New Disease Reports*, v. 31, p. 26, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5197/j.2044-0588.2015.031.026>.
- BORGES, R. C. F.; MARQUES, E.; MACEDO, M. A.; MARTINS, I.; SILVA FILHO, J. G.; MELLO, S. C. M. Biocontrol of teak canker caused by *Lasiodiplodia theobromae*. *Revista Árvore* (on-line), v. 42, p. 1-9, 2018.
- BUENO, S. C.; ARAÚJO, M. S. B.; CAVALCANTE, G. P.; CASSARO, S.; CHIMELLO, A. M.; LEITE, M. A. C.; MALDONADO JUNIOR, C. A. R.; NEVES, L. G. Diagnóstico molecular e avaliação da severidade do cancro da teca para detecção precoce de *Lasiodiplodia theobromae*. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, v. 22, p. 1-20, 2024.
- FÉLIX, C.; LIBÓRIO, S.; NUNES, M.; FÉLIX, R.; DUARTE, A. S.; ALVES, A.; ESTEVES, A. C. *Lasiodiplodia theobromae* as a producer of biotechnologically relevant enzymes. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 19, n. 2, p. 29, 2018.
- JIANG, S.; HU, L.; RUI, Z.; WANG, D.; ZHAO, L.; ZHANG, J.-J.; CHEN, Z. *Lasiodiplodia theobromae*, a pathogen of plants and humans, spreading to new crop hosts globally. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 73, p. 21223-21234, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5c04070>.
- MÉNDEZ-ÁLVAREZ, D.; RODRÍGUEZ, A.; BADILLA-VALVERDE, Y.; MURILLO-GAMBOA, O. Die back syndrome caused by *Lasiodiplodia theobromae* and *Fusarium proliferatum* in elite genotypes of *Tectona grandis* L. f., Costa Rica. In: NELSON, C. D.; KOCH, J. L.; SNIEZKO, R. A. (eds.). *Proceedings of the Sixth International Workshop on the Genetics of Host-Parasite Interactions in Forestry—Tree Resistance to Insects and Diseases*. Asheville: USDA Forest Service, 2020. (Gen. Tech. Rep. SRS-252).
- OSAMA, O. A. et al. Pathological characterization and management of *Lasiodiplodia theobromae*, a hemibiotroph with an interkingdom host range. *Plant Disease*, v. 108, p. 3243-3257, 2024.
- RIGGS, K. A fungus among us—Author names Oregon's humongous fungus as one of the grossest places on Earth. *USDA*, 2012. Disponível em: <https://www.usda.gov/>. Acesso em: 8 set. 2025.
- RODRIGUEZ, A.; ANJAN, S.; MARTINEZ, O. V.; LEKAKIS, L. J.; BEITINJANEH, A.; CAMARGO, J. F.; GIBAS, C. F.; SANDERS, C. J.; WIEDERHOLD, N. P.; ABBO, L. M. Invasive rhinosinusitis caused by *Lasiodiplodia theobromae* in an allogeneic hematopoietic cell transplant recipient: case report and review of literature. *Mycopathologia*, v. 183, p. 841-845, 2018.
- SLIPPERS, B.; WINGFIELD, M. J. Botryosphaeriaceae as endophytes and latent pathogens of woody plants: diversity, ecology and impact. *Fungal Biology Reviews*, v. 21, p. 90-106,

2007.

TAKIZAWA, F. H.; MEDEIROS, R. A.; LEITE, H. G.; BORÉM, A. *Teca: do plantio à colheita*. 6. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2022. 344 p.

TEAK RESOURCES COMPANY (org.). TRC 30 years: Teak Resources Company, 30 years. Tradução de Allan Vidigal. 1. ed. São Paulo: Inbook Editora, 2024. 164 p.

ÚRBEZ-TORRES, J. R.; LEAVITT, G. M.; GUERRERO, J. C.; GUEVARA, J.; GUBLER, W. D. Identification and pathogenicity of *Lasiodiplodia theobromae* and *Diplodia seriata*, the causal agents of bot canker disease of grapevines in Mexico. *Plant Disease*, v. 92, p. 519-529, 2008.

***E. coli* e *Salmonella* na cadeia de alimentos de origem animal do Brasil: como assegurar a qualidade do campo a mesa?**

Eduardo Eustaquio de Souza Figueiredo

Maxsueli Machado

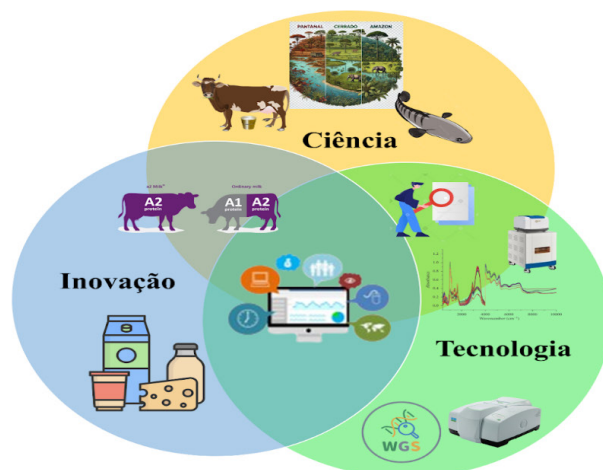
Alexsandro da Silva Siqueira

Gabriela da Silva Pinho

1. INTRODUÇÃO/CONTEXTUALIZAÇÃO

O Brasil destaca-se por ser um dos maiores produtores de alimentos de origem animal. Seus produtos são exportados para mais de 180 países, o que demonstra robustez do serviço oficial brasileiro. Só no terceiro trimestre de 2025, o Brasil abateu mais de 10 milhões de cabeças bovinas (IBGE, 2025). Já o pescado, segundo a Associação Brasileira da Piscicultura, somente em 2025, a produção de peixes de cultivo atingiu 968.745 toneladas no Brasil (Peixe BR, 2025). Estima-se que haverá um crescimento ainda maior devido ao Brasil possuir a maior quantidade de água doce disponível (Conab, 2021; FAO, 2018). Nesse sentido, garantir a segurança microbiológica na cadeia produtiva de alimentos é de vital importância pela valorização desses produtos no mercado internacional e nacional, evitando embargos. Em geral, alimentos de origem animal, apresentam um importante papel para determinar a exposição de seres humanos aos contaminantes de origem biológica ou química (LIEVAART, 2005). Os surtos alimentares envolvendo produtos *in natura* ocorrem pela transferência dos patógenos *E. coli* e *Salmonella spp.* através da contaminação fecal direta ou cruzada durante o processamento, visto que produtos como carne e/ou leite obtidos de animais sadios são estéreis, ou seja, toda contaminação é originada a partir do processo tecnológico realizado de forma inadequada. Assim, o controle efetivo destes agentes requer uma abordagem integrada, baseada em toda cadeia produtiva (NORRUNG, 2009).

Figura 9. Elo entre ciência, inovação, e tecnologia no controle sanitário de bactérias patogênicas em produtos de origem animal



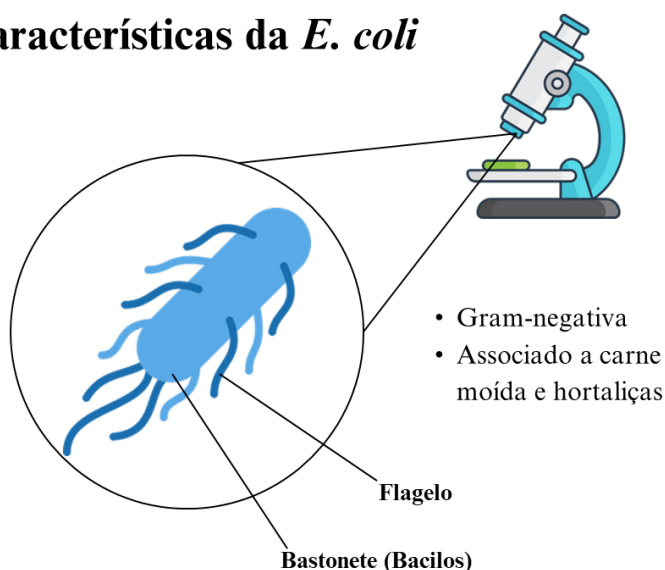
2. MICRORGANISMOS DE INTERESSE NA CADEIA PRODUTIVA DE ALIMENTOS

2.1. *Escherichia coli* (*E. coli*)

Escherichia é um gênero de bactéria pertencente à família *Enterobacteriaceae*, que possui oito espécies “*Escherichia blattae*, *E. vulneris*, *E. hermannii*, *E. fergusonii*, *E. alberti*, *E. adecarboxylata* e *E. marmotae*”, sendo a *Escherichia coli* de maior prevalência na cadeia de alimentos de origem animal (YU; BANTING; NEUMANN, 2021). *E. coli* é uma bactéria Gram negativa, não formadora de esporos, e móvel (possuindo flagelos que auxiliam na sua locomoção). O seu formato varia de células esféricas a bastonetes alongados ou filamentosos (PERCIVAL; WILLIAMS, 2014). Além disso, é facultativamente anaeróbia (cresce com presença ou ausência de oxigênio).

Figura 10. Características morfológicas da *E. coli*.

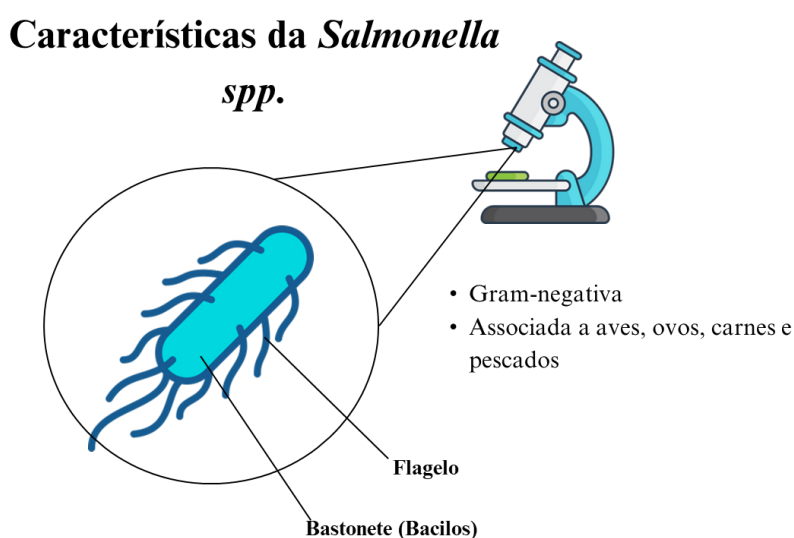
Características da *E. coli*



2.2. *Salmonella* spp.

Salmonella é uma bactéria também pertencente à família *Enterobacteriaceae* e possui duas espécies: *Salmonella enterica* e *Salmonella bongori* (Chaudhari, Singh e Kodgire, 2023). A espécie *S. enterica* possui mais de 2.600 linhagens, também denominados sorovares, que as diferenciam pelos seus antígenos O e H, que fazem parte da sua estrutura celular e flagelar. A *Salmonella* spp., cuja espécie não é definida, já é capaz de causar gastroenterites em humanos, cuja infecção, denominada salmonelose, é caracterizada por sintomas como náuseas, vômitos, cólicas abdominais e febre. Entretanto, alguns sorovares de *Salmonella* tais como *S. Enteritidis* e *S. Typhimurium*, quando infectam os humanos podem desencadear gastroenterites mais intensas, podendo levar a consequências crônicas e, em alguns casos, levar o indivíduo a óbito (Papoula-Pereira et al., 2025). É uma bactéria Gram negativa, que possui forma de bacilo, e pode crescer na ausência ou presença de oxigênio, preferencialmente em temperaturas mesofílicas (entre 30 e 44,5 °C).

Figura 11. Característica da *Salmonella* spp.



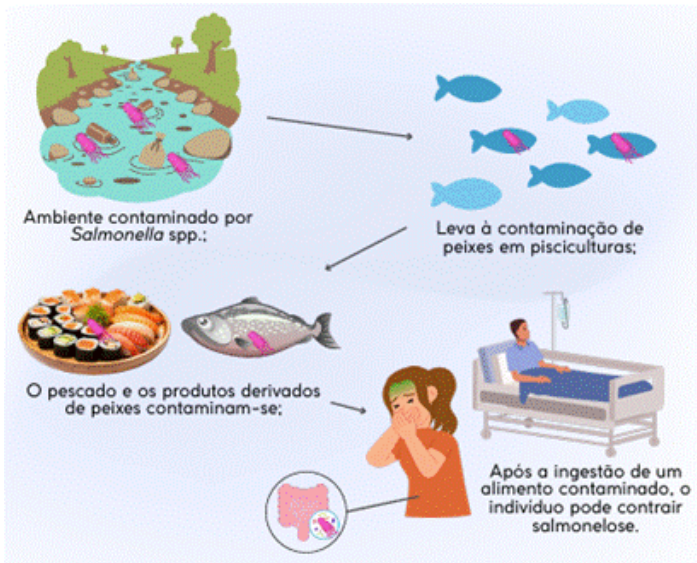
3. OCORRÊNCIA DE *E. coli* e *Salmonella* EM BOVINOS E PESCADO “DA FAZENDA A MESA”

- Fontes de Contaminação: onde tudo começa?

A contaminação por *E. coli* e *Salmonella* spp. inicia-se na própria fazenda e pode se estender até o consumidor final. Uma das principais formas de transmissão é através das fezes de animais, sendo os alimentos, especialmente a carne bovina e pescado, considerados importantes veiculadores desses patógenos (OLIVER et al., 2008). Na **fazenda**, a contaminação ocorre principalmente por meio da água não tratada, ração contaminada e presença de animais silvestres próximos ao local de manejo, reservatórios hídricos e armazenamento inadequado da ração (SOON; CHADD; BAINES, 2011).

No entanto, sabe-se que os peixes não são um reservatório natural de *Salmonella* spp. (Cunha-Neto et al., 2019). Durante o **transporte e processamento** na indústria, os riscos aumentam devido à manipulação inadequada, equipamentos e superfícies mal higienizadas e falhas na refrigeração (Fernandes et al., 2021). No **consumidor** final, a contaminação pode ocorrer pelo cozimento insuficiente da carne, mistura de alimentos crus com alimentos prontos para consumo (Lu et al., 2025) e armazenamento inadequado, fora das condições de refrigeração recomendadas.

Figura 12. Etapas de contaminação da *Salmonella* spp. na cadeia de pescado e consumo



- **Risco para a saúde pública**

Tabela 1 - Principais sintomas e tratamentos em humanos causado por bactérias patogênicas.

Agentes	Sintomas	Tratamento
<i>E. coli</i>	Diarreia, cólicas fortes, febre baixa. Em casos graves: Síndrome Hemolítica Urêmica (SHU) (RAHAL; KAZZI; NASSAR; MATAR, 2012)	Hidratação oral/venosa; não usar antibióticos (podem piorar a SHU); suporte médico hospitalar nos casos graves.
<i>Salmonella</i> sp.	Náusea, vômito e diarreia não sanguinolenta, podendo ser acompanhada de febre, dor abdominal, mialgia, dores nas articulações e cabeça (CUNHA-NETO et al., 2018)	Hidratação oral/venosa; antibióticos apenas em casos graves e repouso alimentar leve.

- **Formas de mitigação**

As principais estratégias incluem práticas de limpeza e saneamento, bem como triagem e diagnóstico de indivíduos que manuseiam alimentos; vigilância de animais portadores (animais de criação), e tratamento adequado quando necessário (WHO, 2018). Além disso, práticas de gestão agrícola na fazenda, promovem a biossegurança, tais como separação de espécies domésticas, medidas ambientais preventivas nas explorações “instalação de barreiras/cercas físicas, esquemas de monitorização e vacinação” (BUTUCEL et al., 2022).

4. IMPACTOS NO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO

- **Perdas econômicas por interdição de lotes**

A interdição de lotes contaminados resulta em perdas diretas para produtores e indústrias, com desperdício de matéria-prima, redução da capacidade produtiva e custos adicionais para descarte seguro.

- **Recall dos produtos**

O recall de produtos contaminados pode gerar expressivos prejuízos econômicos às empresas, uma vez que compromete a confiança de consumidores e investidores. Essa perda de credibilidade impacta diretamente nos preços e na competitividade, especialmente no curto prazo (MOGHADAM; SCHMIDT; GRIER, 2013).

- **Barreira Sanitária para exportação**

A detecção de patógenos em produtos de origem animal pode levar à imposição de barreiras sanitárias por países importadores (BAPTISTA et al., 2023), restringindo o acesso a mercados internacionais e afetando a competitividade do agronegócio brasileiro.

5. LEGISLAÇÃO: O QUE A LEI EXIGE SOBRE *E. coli* e *Salmonella* spp. EM RELAÇÃO AO ALIMENTO SEGURO?

No Brasil, a segurança de produtos de origem animal, especialmente a carne bovina e pescado, são garantidas por normas específicas que estabelecem limites e critérios para a presença de microrganismos patogênicos. Entre eles, *E. coli* e *Salmonella* spp. recebem atenção especial, por estarem diretamente associados a surtos alimentares e riscos à saúde pública. A Instrução Normativa nº 161/2022 do Ministério da Saúde (MS) junto a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), estabelece que os produtos cárneos destinados ao consumo humano devem estar isentos de *Salmonella* spp. Para *E. coli*, são definidos limites microbiológicos de 10 UFC/g (mínimo) e 10³ UFC/g (máximo), conforme as categorias específicas de produtos, refletindo padrões internacionais de segurança

alimentar. No cenário internacional, o Codex Alimentarius, referência global em segurança de alimentos, também recomenda critérios rigorosos de controle desses patógenos, especialmente em produtos de origem animal destinados ao comércio. Dessa forma, o cumprimento da legislação brasileira não apenas protege a saúde dos consumidores, mas também fortalece a competitividade da carne nacional em mercados mais exigentes.

6. DESAFIOS FUTUROS

- **Resistência Antimicrobiana**

A resistência de bactérias aos antibióticos utilizados na clínica humana e animal já representam uma ameaça à saúde pública. A intensificação da produção animal, associado ao uso indiscriminado de antibióticos no tratamento de infecções em humanos, vem selecionando cepas de *Salmonella* e *E. coli* patogênicas, com resistência a antimicrobianos. Com isso, têm sido levantadas preocupações em relação à saúde pública e aos perigos relacionados a esse problema (Bisola Bello et al., 2024; Alhadlaq et al., 2024). Dentre eles, incluem: maiores taxas de mortalidade, períodos mais longos de infecção, e um maior gasto em despesas médicas (Founou, Founou e Essack, 2017). Este problema se torna ainda mais preocupante na população de risco, como crianças, idosos e pessoas imunocomprometidas.

- **O perigo escondido nos biofilmes de *E. coli* e *Salmonella* a “fortaleza invisível”**

Um dos maiores desafios no controle de *Salmonella* e *E. coli* está na capacidade que algumas dessas bactérias possuem em formar biofilmes. Esses biofilmes funcionam como verdadeiros ecossistemas, onde células microbianas ficam envoltas por uma matriz de substâncias poliméricas extracelulares (EPS), composta por proteínas, polissacarídeos e DNA. Essa estrutura permite a adesão e persistência em diferentes superfícies, vivas ou inertes, e protege os patógenos durante o processamento de alimentos, como em plantas frigoríficas (Flemming et al., 2023). A capacidade de formação de biofilme varia conforme o sorotipo e depende de fatores como temperatura, fonte e tipos de superfície de contato (Obe; Richards; Shariat, 2022). Essa característica potencializa a disseminação de *Salmonella* e *E. coli*, já que o biofilme confere proteção contra estressores químicos, mecânicos e físicos (Bai; Nakatsu; Bhunia, 2021; (Nasrollahian; Graham; Halaji, 2024). Além disso, o biofilme favorece a virulência das cepas, pois torna as bactérias mais resistentes tanto ao ataque do sistema imunológico do hospedeiro quanto à ação de antimicrobianos (Harrell et al., 2021). Em resumo, os biofilmes transformam esses microrganismos em uma verdadeira fortaleza invisível, dificultando sua eliminação e representando uma ameaça constante para a segurança dos alimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALHADLAQ, Meshari Ahmed et al.. Overview of pathogenic *Escherichia coli*, with a focus on Shiga toxin-producing serotypes, global outbreaks (1982–2024) and food safety criteria. *Gut Pathogens*, v. 16, n. 1, p. 1-18, 7 out. 2024. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s13099-024-00641-9>.
- BAI, X.; NAKATSU, C. H.; BHUNIA, A. K. **Bacterial Biofilms and Their Implications in Pathogenesis and Food Safety**. *Foods*, v. 10, n. 9, p. 2117, 8 set. 2021.
- BAPTISTA, D. Q et al. **Salmonella Serovars Isolated from Poultry Breeding Flocks under the Brazilian Official Control Programme Between 2016 and 2018**. *Brazilian Journal Of Poultry Science*, v. 25, n. 1, p. 1-11, 2023. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9061-2022-1646>.
- BRASIL. Instrução Normativa nº 161, de 01 de julho de 2022, 2022. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-161-de-1-de-julho-de-2022-413366880>>. Acesso em: 17 set. 2025
- BUTUCEL, Eugenia et al. **Farm Biosecurity Measures and Interventions with an Impact on Bacterial Biofilms**. *Agriculture*, v. 12, n. 8, p. 1251, 18 ago. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture12081251>.
- CHAUDHARI, R.; SINGH, K.; KODGIRE, P. **Biochemical and molecular mechanisms of antibiotic resistance in *Salmonella* spp.** *Research in Microbiology*, v. 174, n. 1–2, p. 103985, jan. 2023.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento Boletim Hortigranjeiro Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/hortigranjeiros-prohort/boletim-hortigranjeiro/boletim-hortigranjeiro-2021>. Acesso em: 17 set. 2025.
- CUNHA-NETO, A. DA et al. **Salmonella isolated from chicken carcasses from a slaughterhouse in the state of Mato Grosso, Brazil: antibiotic resistance profile, serotyping, and characterization by repetitive sequence-based PCR system**. *Poultry Science*, v. 97, n. 4, p. 1373–1381, abr. 2018.
- CUNHA-NETO, A. et al. **Occurrence and antimicrobial resistance profile of *Salmonella* isolated from native fish slaughtered and commercialised in Brazil**. *Journal of Food Safety and Food Quality*, v. 70, n. 4, p. 94–98, 2019.
- FAO, E. **Meeting the sustainable development goals**. The state of world fisheries and aquaculture, p. 227, 2018.
- FERNANDES, D. V. G. S. et al. *Salmonella* in the processing line of farmed Tambatinga (*Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomus*) in Mato Grosso, Brazil: serotypes of occurrence and antimicrobial profile. *Tropical Animal Health and Production*, v. 53, n. 1, p. 146, 29 mar. 2021.

FLEMMING, H.-C. et al. The biofilm matrix: multitasking in a shared space. *Nature Reviews Microbiology*, v. 21, n. 2, p. 70–86, 20 fev. 2023.

HARRELL, J. E. et al. **Salmonella Biofilm Formation, Chronic Infection, and Immunity Within the Intestine and Hepatobiliary Tract.** *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, v. 10, 2 fev. 2021.

IBGE. **Produção agropecuária: bovinos abatidos.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/bovinos-abatidos/br>. Acesso em: 18 set. 2025.

LU, J. et al. Salmonella: Infection mechanism and control strategies. *Microbiological Research*, v. 292, p. 128013, mar. 2025.

MOGHADAM, Arian Khaleghi; SCHMIDT, Claudia; GRIER, Kevin. The impact of E. Coli O157: h7 recalls on live cattle futures prices. *Food Policy*, v. 42, p. 81-87, out. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodpol.2013.07.002>.

NASROLLAHIAN, Sina; GRAHAM, Jay P.; HALAJI, Mehrdad. A review of the mechanisms that confer antibiotic resistance in pathotypes of E. coli. *Frontiers In Cellular And Infection Microbiology*, v. 14, 4 abr. 2024. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fcimb.2024.1387497>.

OLIVER, S. P.; PATEL, D. A.; CALLAWAY, T. R.; TORRENCE, M. E.. ASAS Centennial Paper: developments and future outlook for preharvest food safety¹. *Journal Of Animal Science*, v. 87, n. 1, p. 419-437, 1 jan. 2009. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.2527/jas.2008-2008-1151>.

OBE, T.; RICHARDS, A. K.; SHARIAT, N. W. Differences in biofilm formation of Salmonella serovars on two surfaces under two temperature conditions. *Journal of Applied Microbiology*, v. 132, n. 3, p. 2410–2420, 1 mar. 2022.

PEIXE BR. Anuário Brasileiro da Piscicultura. 2025. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario-2025/>. Acesso em: 17 set. 2025.

PERCIVAL, Steven L.; WILLIAMS, David W. *Escherichia coli*. *Microbiology Of Waterborne Diseases*, p. 89-117, 2014. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-415846-7.00006-8>.

PAPOULA-PEREIRA, R. et al. **Economic evidence for the control of Salmonella in animal-derived food systems: A scoping review.** *Food Control*, v. 175, p. 111275, set. 2025.

RAHAL, Elias A.; KAZZI, Natalie; NASSAR, Farah J.; MATAR, Ghassan M. **Escherichia coli O157: h7-clinical aspects and novel treatment approaches.** *Frontiers In Cellular And Infection Microbiology*, v. 2, p. 1-138, 2012. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fcimb.2012.00138>.

SOON, J. M.; CHADD, S. A.; BAINES, R. N. **Escherichia coli O157: h7 in beef cattle.** *Animal Health Research Reviews*, v. 12, n. 2, p. 197-211, dez. 2011. Cambridge University

Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s1466252311000132>.

WHO. **Salmonella (Non-Typhoidal)**. Disponível em: <[https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/salmonella-\(non-typhoidal\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/salmonella-(non-typhoidal))>. Acesso em: 17 set. 2025.

YU, Daniel; BANTING, Graham; NEUMANN, Norman F. **A review of the taxonomy, genetics, and biology of the genus Escherichia and the type species Escherichia coli.** *Canadian Journal Of Microbiology*, v. 67, n. 8, p. 553-571, ago. 2021. Canadian Science Publishing. <http://dx.doi.org/10.1139/cjm-2020-0508>.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Absorção de nutrientes · 5, 7, 26

Ácidos nucleicos · 18

Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) · 60

Agricultores · 19

Agricultura · 3, 4, 5, 6, 10, 12, 19, 20, 24, 25, 29, 33

Alimentos · 2, 3, 6, 13, 53, 54, 55, 57, 58, 60, 61

Alimentos de origem animal · 3, 53, 55

Alumínio · 18, 19

Ambientes tropicais · 19

Antibióticos · 58, 60

Atividades antrópicas · 46

Ativos florestais · 47

ATP · 18

Avanço das biotecnologias · 49

Avanços tecnológicos · 6

B

Bactérias · 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 26, 27, 32, 54, 58, 60, 61

Barreiras sanitárias · 59

Biocombustíveis · 10, 19

Biocontrole · 11, 48

Biofilmes · 25, 61

Biomassa · 11, 18, 40

Biossegurança · 58

Botryosphaeria rhodina · 41

Bovinos · 1, 56, 63

C

Cadeia produtiva · 3, 46, 49, 50, 53, 54

Cálcio · 18, 19, 27

Carboidratos · 18, 26

Carne · 1, 3, 54, 57, 59

Cartilha · 1, 3, 4

Células microbianas · 61

Certificações florestais · 49

Colheita · 17, 44, 52

Conservação · 0

Contaminação da água · 5

Contaminantes · 53

Créditos de carbono · 47

Crescimento · 0, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 18, 21, 22, 25, 26, 42, 43, 44, 53

Crescimento vegetal · 5, 9, 13

D

Defensivos químicos · 49

Deficiências nutricionais · 17

Déficit hídrico · 11, 13, 44

Desafios · 0, 12, 45, 47, 61

Desenvolvimento Sustentável (ODS) · 1

Desnitrificação · 5

Diversidade genética · 40

Divisão celular · 18

DNA · 18, 61

Doenças · 1, 2, 3, 42, 43, 45, 46, 47

E

E. Coli · 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 64

Economia · 0

Ecossistemas · 23, 41, 61

Ecossistemas florestais · 41

Empregos · 0

Enzimas · 9, 11, 12, 18, 22, 43

Escherichia · 3, 55, 61, 64, 65

Estabilidade econômica · 1

Estresses · 6, 8, 9, 12, 23, 24, 25, 48

F

Ferro · 6, 18, 19

Fertilização orgânica · 20

Fertilizantes · 5, 18, 19, 20, 21, 26, 27, 29, 30

Fertilizantes fosfatados · 19, 21, 26

Fertilizantes minerais · 18, 19, 20, 21, 27

Fertilizantes orgânicos · 20

Fertilizantes organominerais · 21

Fertilizantes químicos · 5, 6

Fósforo (P) · 18, 22, 27

Fungicidas · 48

Fungo · 3, 24, 26, 40, 41, 43, 44, 47

Fungos micorrízicos · 5, 22, 26, 27

G

Genótipos resistentes · 48

Geração de emprego · 46

Gestão sustentável · 47

H

Hospedeiro vegetal · 43

I

Impacto ambiental · 47

Infecções · 45, 60

L

Lasiodiplodia theobromae · 40, 41, 42, 44, 45, 47, 50, 51, 52

Lixiviação · 5

M

Macronutriente · 18

Manejo da cultura · 49

Manejo sustentáveis · 49

Matéria orgânica · 20, 21, 37

Mecanismos metabólicos · 43

Meio ambiente · 0

Melhoramento genético · 10, 49

Mercado · 46, 47, 50, 53

Metabolismo fúngico · 44

Microrganismos · 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 17, 21, 22, 26, 27, 40, 59, 61

Ministério da Saúde (MS) · 60

Monitorização · 58

Monocultivo · 40

Mudanças climáticas · 1, 12, 43

N

Nitrogênio · 6, 9, 11, 19, 32

Nutrientes · 5, 6, 11, 12, 17, 18, 20, 22, 23, 24, 26, 27

O

ODS · 1

Organismos fitopatogênicos · 40

P

Patogenicidade · 45

Patógeno oportunista · 41

Patógenos · 8, 40, 49, 54, 57, 59, 60, 61

Peixes · 1, 4, 53, 57

Ph · 18, 22, 25, 44

Piscicultura · 53, 64

Plantas · 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 43, 44, 61

Pragas · 1, 46

Práticas agrícolas · 5, 6

Práticas florestais · 49

Processamento · 14, 54, 57, 61

Processo tecnológico · 54

Produção animal · 10, 60

Produção de grãos · 1

Produção de leite · 1

Produtividade agrícola · 17, 18

Produtividade das plantas · 5, 6

Produtos de origem animal · 54, 59

Produtos *in natura* · 54

Produtos químicos · 5, 12

Produtos químicos sintéticos · 5

R

Rede Agrobiotec · 1, 6, 17

Regiões tropicais · 1, 41, 43

Renda · 0, 46

Reservatórios hídricos · 57

Resistência genética · 49

Riscos ambientais · 6

RNA · 18

S

Salmonella spp · 4, 54, 55, 56, 57, 59, 62

Saneamento · 58

Saúde pública · 58, 60

Segurança alimentar · 1, 10, 60

Segurança de produtos · 59

Segurança microbiológica · 53

Sementes · 1, 3, 8, 9, 10, 11, 13, 44

Silvicultura · 3, 4, 49

Sistemas agropecuários · 1

Sistemas de produção · 1, 40

Solo · 2, 3, 5, 6, 8, 11, 12, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 34, 37, 42, 48

Sustentabilidade · 0, 1, 6, 19, 49

T

Trifosfato de adenosina · 18

V

Vacinação · 58

Vigilância · 58



contato@editoraomnisscientia.com.br 

<https://editoraomnisscientia.com.br/> 

@editora_omnis_scientia 

<https://www.facebook.com/omnis.scientia.9> 

+55 87 99920-5762 



contato@editoraomnisscientia.com.br 

<https://editoraomnisscientia.com.br/> 

@editora_omnis_scientia 

<https://www.facebook.com/omnis.scientia.9> 

+55 87 99920-5762 