

MICROORGANISMOS DO SOLO: OS ALIADOS DO PRODUTOR

Série de artigos informativos
para a comunidade rural



Stella Cristiani Gonçalves Matoso
Angelita Aparecida Coutinho Picazevicz
Erica de Oliveira Araújo
Roberta Carolina Ferreira Galvão de Holanda
Rosalba Ortega Fors
Jessica Danila Krugel Nunes

MICROORGANISMOS DO SOLO: OS ALIADOS DO PRODUTOR

Série de artigos informativos
para a comunidade rural



Stella Cristiani Gonçalves Matoso
Angelita Aparecida Coutinho Picazevicz
Erica de Oliveira Araújo
Roberta Carolina Ferreira Galvão de Holanda
Rosalba Ortega Fors
Jessica Danila Krugel Nunes

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2023 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena

Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo do texto e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva das autoras, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos as autoras, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras

Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade do Estado de Mato Grosso

Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Edevaldo de Castro Monteiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Microrganismos do solo: os aliados do agricultor - Série de artigos informativos para a comunidade rural

Diagramação: Nataly Evilin Gayde
Correção: Maiara Ferreira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: As autoras

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
M626	<p>Microrganismos do solo: os aliados do agricultor - Série de artigos informativos para a comunidade rural / Stella Cristiani Gonçalves Matoso, Angelita Aparecida Coutinho Picazevicz, Erica de Oliveira Araújo, et al. - Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.</p> <p>Outras autoras Roberta Carolina Ferreira Galvão de Holanda Rosalba Ortega Fors Jessica Danila Krugel Nunes</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-1084-3 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.843232404</p> <p>1. Terras rurais e de agricultura. I. Matoso, Stella Cristiani Gonçalves. II. Picazevicz, Angelita Aparecida Coutinho. III. Araújo, Erica de Oliveira. IV. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 333.76</p>
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná – Brasil
 Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DAS AUTORAS

As autoras desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao conteúdo publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que o texto publicado está completamente isento de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

Somos gratas à Revista AgroRondônia, pela parceria durante a execução do Projeto de Extensão “Difusão de conhecimentos científicos e tecnológicos área de Microbiologia do Solo” e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, *Campus* Colorado do Oeste, pelo fomento à publicação deste material.

Também deixamos nossos sinceros agradecimentos a João Henrique Nicola Gervásio e Tancredo Augusto Feitosa de Souza, que nos concederam fotos utilizadas para ilustrar o material.

Este livro traz uma série de artigos informativos voltados para a comunidade rural. A obra se intitula “Microrganismos do solo: os aliados do agricultor”, pois visa a sensibilizar os produtores rurais para o uso dos microrganismos do solo a fim de elevar a produtividade das culturas agrícolas, além de desmistificar a ideia de que microrganismos estão relacionados apenas a doenças.

A série foi organizada em seis artigos, com temas relevantes para a produção agrícola no Brasil, porém, com ênfase para a região Norte. Esses temas foram selecionados a partir da experiência em atividades de ensino, pesquisa e extensão das autoras, nas quais verificaram dúvidas, por parte dos produtores rurais, que já possuem respostas pautadas na ciência.

Os artigos aqui publicados são fruto de um projeto de extensão institucionalizado pelo Instituto Federal de Rondônia, *Campus Colorado do Oeste*, por meio do Edital nº 10/2021/COL, que contou com a parceria da Revista AgroRondônia para a publicação. Decidimos organizar o material publicado na Revista na forma de *e-book* para garantir a sua manutenção na *internet* e permitir a ampla divulgação e acesso das informações aqui tratadas. Assim, esperamos que este livro atinja seu público-alvo e tenha muita utilidade!

As autoras

(RE)CONHECENDO OS MICRORGANISMOS DO SOLO E AS SUAS MÚLTIPLAS FUNÇÕES.....	1
CUIDADOS COM OS INOCULANTES E COM A INOCULAÇÃO.....	6
O EFEITO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA DE ARRANQUE NA FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO.....	10
POR QUE PLANTAS “BEM NUTRIDAS” ALCANÇAM A PRODUTIVIDADE ÓTIMA COM A FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO?	13
MICORRIZAS ARBUSCULARES: IMPORTÂNCIA E PERSPECTIVAS DE APLICAÇÃO NA AGRICULTURA RONDONIENSE	17
O PAPEL DOS MICRORGANISMOS DO SOLO NA DEFESA DA PLANTA	20
REFERÊNCIAS	24
SOBRE AS AUTORAS	26

(RE)CONHECENDO OS MICRORGANISMOS DO SOLO E AS SUAS MÚLTIPLAS FUNÇÕES

Louis Pasteur, cientista que descobriu o processo de pasteurização, afirmou que “o papel dos infinitamente pequenos é infinitamente grande”. No solo e na agricultura, esta afirmação é pura verdade. O uso de microrganismos na agricultura se popularizou com o controle biológico de pragas e doenças e com a fixação biológica de nitrogênio (FBN), devido ao seu baixo custo, elevada eficácia e reduzido impacto ambiental. Neste texto vamos tratar dessas e de outras possibilidades de uso de microrganismos na agricultura.

Todo sojicultor conhece os nódulos que se formam nas raízes das plantas de soja (Figura 1) e sabe que é nessas estruturas que a mágica acontece. Os nódulos são estruturas especializadas, que contêm bactérias diazotróficas capazes de fixar o nitrogênio do ar e disponibilizá-lo às plantas. Esse processo ocorre de forma natural com as bactérias presentes no solo. Porém, para melhores rendimentos, são selecionadas espécies e estirpes de bactérias mais eficientes para cada cultura. Por isso, faz-se necessário o processo de inoculação (Figura 2) das bactérias selecionadas.



Figura 1 – Nódulos em raiz de soja.

Foto de João Henrique Nicola Gervásio.

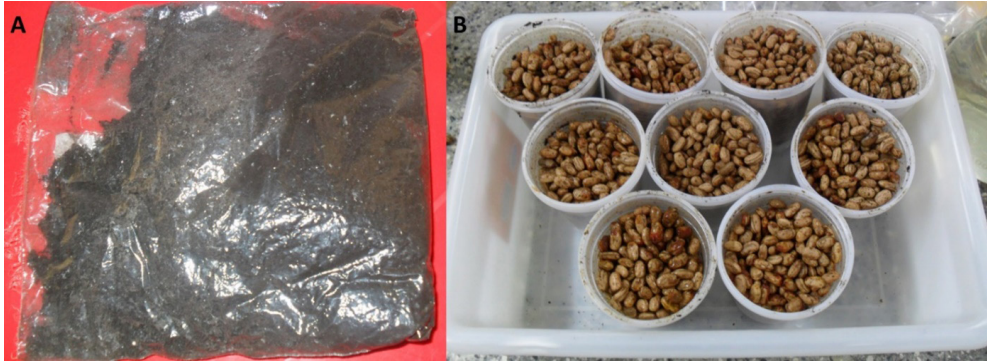


Figura 2 – Inoculante turfoso contendo bactérias *Rhizobium tropici* (A) e sementes de feijoeiro inoculadas e prontas para o plantio (B).

Fotos de Stella C. G. Matoso.

Na cultura da soja, a prática de inoculação dispensa totalmente a adubação nitrogenada. Em Rondônia esse resultado é muito importante, pois o custo do transporte encarece os adubos. Considerando a necessidade de nitrogênio para a cultura da soja, a produtividade atual em Rondônia e o custo atual da ureia no Cone Sul do Estado, observamos que a quantidade de adubo mineral necessária para 1 ha custaria cerca de R\$ 3.434,00, enquanto o inoculante custa de R\$ 6,00 a R\$ 14,00 por hectare (dados de fevereiro 2022).

Temos que lembrar que a soja é o caso de maior sucesso na FBN, mas não é o único. Outras plantas conhecidas como leguminosas, como o feijão, amendoim, crotalária etc. possuem capacidade de estabelecer simbiose com as bactérias diazotróficas e se beneficiar da FBN. Nas culturas chamadas de gramíneas, como as braquiárias, milho, milheto, arroz, sorgo, cana-de-açúcar etc., também ocorre o processo de FBN, mas sem a formação de nódulos nas raízes.

Com a inoculação das diversas culturas, a redução na adubação nitrogenada varia de 30 a 50%, com exceção da soja e da cana-de-açúcar, que possuem alta eficiência no processo e podem dispensar totalmente essa adubação. Infelizmente, os inoculantes comerciais existentes abarcam apenas 1% das espécies e estirpes que possuem resultados de pesquisa positivos. No quadro abaixo, elencamos as espécies recomendadas para as culturas de importância no Estado de Rondônia, para as quais existem inoculantes comerciais autorizados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Nome comum	Nome científico	Bactéria(s) autorizada(s) ¹
Amendoim	<i>Arachis hypogaea</i>	<i>Bradyrhizobium</i> sp.
Estilosantes	<i>Stylosanthes</i> spp.	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>
Feijão	<i>Phaseolus vulgaris</i>	<i>Rhizobium tropici</i>
Feijão caupi	<i>Vigna unguiculata</i>	<i>Bradyrhizobium</i> sp.
Feijão guandu	<i>Cajanus cajan</i>	<i>Bradyrhizobium</i> sp.
Soja	<i>Glycine max</i>	<i>Bradyrhizobium japonicum</i> e <i>Bradyrhizobium elkanii</i>
Gramíneas (arroz, braquiárias, milho, milheto, sorgo etc.)	-	<i>Azospirillum brasilense</i>

¹ Para cada cultura são recomendadas cepas específicas.

Nem só de FBN vive a relação microrganismo-planta! Com o avanço das pesquisas, vários processos vêm sendo descobertos. Hoje conhecemos a fitoestimulação, a solubilização de fosfatos e o antagonismo a patógenos. Assim, surgiu o termo microrganismos promotores de crescimento de plantas e os estudos com a coinoculação, que consiste na inoculação de mais de uma espécie para garantir os vários processos simultâneos. As coinoculações mais comuns são de *Bradyrhizobium* com *Bacillus*, ou de *Bradyrhizobium* com *Azospirillum*, porém são muitas as possibilidades a serem exploradas. E o próprio produtor pode se tornar pesquisador nesse processo. No quadro abaixo podemos verificar as bactérias existentes em inoculantes comerciais e os processos nos quais elas atuam.

Bactéria	Processo(s)
<i>Bacillus megaterium</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus pumilus</i> e <i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Fixação biológica de nitrogênio, fitoestimulação, solubilização de fosfato e antibiose
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Solubilização de fosfato e antibiose

A fitoestimulação é a capacidade de produção de fitormônios de crescimento de plantas, como auxinas, giberelinas e citocininas, que induzem a planta a crescer, e etileno, que atua como mediador nas vias de sinalização hormonal de processos como a germinação de sementes, crescimento de pelos radiculares e nodulação. Portanto, a inoculação de bactérias com essa capacidade resulta em maior crescimento das plantas em uma mesma condição de fertilidade do solo.

A solubilização de fosfatos, como o próprio nome diz, é a transformação do fósforo de uma forma insolúvel (indisponível) para uma forma solúvel (disponível às plantas). As adubações mais pesadas em Rondônia são feitas com fósforo, o que torna o custo de produção bastante alto (por exemplo, o custo atual de aplicar 100 kg de P₂O₅ na forma de fosfato monoamônico - MAP - no Cone Sul de Rondônia é de R\$ 1.768,00). Isso ocorre

não porque o fósforo seja o elemento mais requerido pela planta, mas sim porque o solo retém altas quantidades de fósforo em formas indisponíveis, devido ao processo conhecido como fixação de fosfato. Assim, é de extrema importância usar os microrganismos que têm a capacidade de solubilizar os fosfatos.

O antagonismo a patógenos, ou seja, a ação contrária de um microrganismo que não causa doenças em plantas em relação a outro que causa, ocorre pelos processos de antibiose (liberação de substâncias por uma espécie que inibe o desenvolvimento de outra), de competição por nutrientes e de competição por sítios de colonização. Assim, com a inoculação de microrganismos capazes de defender a planta, cria-se uma barreira protetora em volta das raízes, que dificulta o desenvolvimento dos organismos que causam doenças ou danos às plantas.

Até o momento tratamos apenas de bactérias, mas também existem fungos, que podemos encontrar na forma de inoculantes comerciais, os quais elevam a produtividade das culturas. Os fungos micorrízicos arbusculares, por exemplo, associam-se às raízes das plantas, aumentando o sistema radicular em mais de 800 vezes. Desse modo, aumentam a absorção de água e nutrientes, principalmente daqueles pouco móveis no solo, como fósforo e cálcio. Atualmente, existe apenas uma espécie presente em inoculante comercial no Brasil, *Rhizophagus intraradices*, porém o potencial de espécies é muito maior, como podemos visualizar na Figura 3.



Figura 3 – Efeito da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares no crescimento de plantas de girassol (*Helianthus annuus*). Da esquerda para direita temos os seguintes tratamentos: (T05) controle (sem inoculação), (T06) inoculação com *Funneliformis mosseae*, (T07) inoculação com *Gigaspora gigantea* e (T08) inoculação com ambas as espécies.

Foto de Tancredo Augusto Feitosa de Souza.

Outras espécies de fungo estão disponíveis no mercado, podendo atuar no processo de fitoestimulação e no antagonismo a patógenos, como podemos verificar no quadro abaixo.

Fungo	Processo	Efeito
<i>Pochonia chlamydosporia</i>	Parasitismo	Controle de nematoides de galhas
<i>Trichoderma harzianum</i> , <i>Trichoderma asperellum</i> , <i>Trichoderma viride</i>	Competição por espaço e nutrientes, parasitismo, antibiose, indução de resistência da planta, solubilização de fosfatos e fitoestimulação	Controle de nematoides e fungos fitopatogênicos, promoção de crescimento de plantas

Como vimos, sobre os microrganismos do solo temos muito o que conversar! Como não seria possível abordar tudo em um artigo apenas, vamos fazer uma série de publicações para trazer mais informações sobre esses processos microbianos.

CUIDADOS COM OS INOCULANTES E COM A INOCULAÇÃO

Os inoculantes são produtos que contêm microrganismos benéficos disponíveis para uso na agricultura, tais como bactérias diazotróficas (envolvidas na fixação biológica de nitrogênio - FBN) e/ou rizobactérias promotoras do crescimento de plantas (que incluem mecanismos como a produção de hormônios do crescimento vegetal, solubilização de elementos essenciais para as plantas como o fosfato e proteção contra a ação de patógenos).

O uso de inoculantes é uma realidade no cenário mundial, e o Brasil é pioneiro na produção e utilização desses produtos. No entanto, no Estado de Rondônia a disponibilidade dos inoculantes no mercado ainda é considerada baixa quando comparada a nível nacional. Fatores relacionados à inexistência de laboratório para produção e a precariedade da difusão tecnológica têm dificultado a logística de revenda e o avanço da disseminação e uso da tecnologia.

A verificação de registro de um inoculante junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) é um dos cuidados indispensáveis no momento da aquisição. Contudo, esse registro só é possível após algumas etapas essenciais: seleção de rizobactérias promotoras do crescimento vegetal; validação da eficiência agrônômica a partir de pesquisas científicas; registro no MAPA e lançamento do produto comercial.

A fiscalização do produto pelo MAPA visa a assegurar condições e características ideais e específicas, como, por exemplo, a quantidade de unidades formadoras de colônias (UFC) bacterianas ou fúngicas (o número viável, com capacidade de multiplicação, de células e/ou propágulos). Nesse contexto, o inoculante deve ter uma população mínima de microrganismo por grama ou mililitro do produto, considerando para bactérias fixadoras de nitrogênio que realizam simbiose com leguminosas uma concentração mínima de $1,0 \times 10^9$ UFC por grama ou mililitro de produto, e para os demais inoculantes formulados com microrganismos promotores do crescimento de plantas e bactérias associativas a concentração deverá ser informada no processo de registro (BRASIL, 2011).

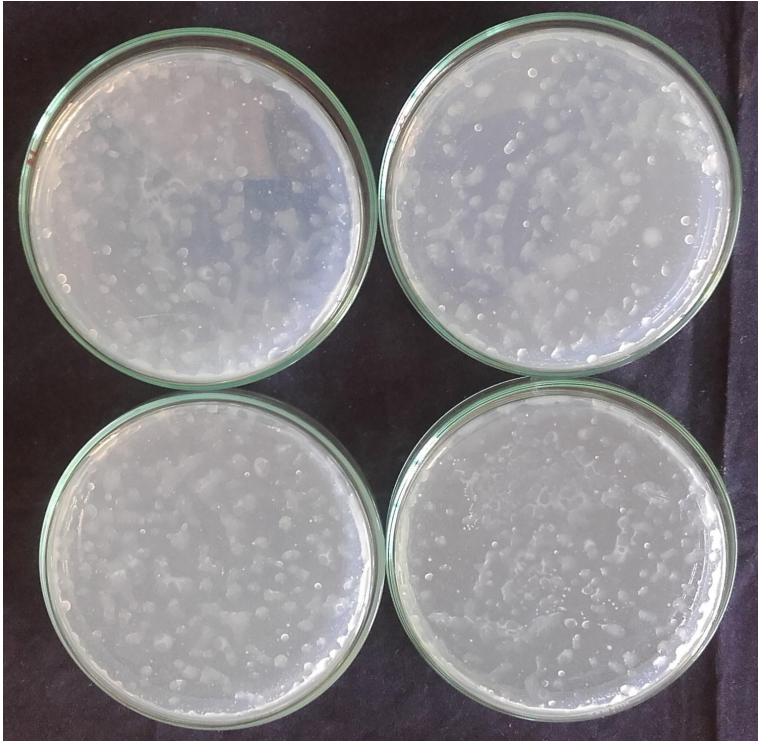


Figura 1 – Unidades formadoras de colônias de *Rhizobium tropici*.

Foto de Angelita Aparecida Coutinho Picazevicz

Na aquisição de inoculantes comerciais, é imprescindível conferir a data de fabricação e validade do produto, uma vez que, se estiver fora do período determinado, a quantidade e viabilidade de unidades formadoras de colônia poderão estar comprometidas, o que prejudica os resultados de crescimento, desenvolvimento e produção vegetal (eficiência agrônômica). Além disso, o fornecedor deve assegurar condições adequadas de armazenamento e transporte. Uma vez na propriedade, recomenda-se que o agricultor mantenha o inoculante em locais bem arejados e de temperaturas amenas. Portanto, o insucesso do processo de inoculação ocorrerá se o produto for transportado e armazenado em ambientes com exposição direta ao sol e com elevadas temperaturas, o que resultará na morte dos microrganismos.

Os inoculantes comerciais são disponibilizados no mercado em meio turfoso ou líquido, sendo que o primeiro se encontra na forma sólida, em que o veículo é a turfa (material orgânico), e o segundo, na forma líquida, em que o veículo é um meio de cultura. Ambas as formas possuem condições específicas que visam a assegurar a sobrevivência dos microrganismos adicionados. Ressalta-se que, de acordo com instruções normativas para a produção dos inoculantes, esses produtos devem ser livres de contaminação, garantindo

as especificações dos microrganismos selecionados para as diferentes culturas.

O processo de inoculação é a etapa em que os inoculantes microbianos são colocados em contato com uma estrutura vegetal como sementes ou plantas já estabelecidas no campo, podendo a aplicação ser feita via pulverização ou no sulco de semeadura. Essa última técnica é recente, considerando a difusão da tecnologia do uso de microrganismos para outras culturas além da soja.



Figura 2 – Processo de inoculação: sementes sem (à esquerda) e com inoculante (à direita).

Foto de Angelita Aparecida Coutinho Picazevicz

Recomenda-se realizar a inoculação em horários com temperaturas amenas (baixas) e menor incidência solar (à sombra), evitando exposição ao sol. Se a formulação do inoculante for turfosa (sólido), deve-se preparar uma solução açucarada, visando a garantir a distribuição e aderência do produto às sementes. Nesse contexto, pode ser utilizada uma solução com açúcar cristal a 10%, adicionando 100 g de açúcar cristal para um litro de água (BRANDÃO JÚNIOR; HUNGRIA, 2000). Além disso, é necessário destacar a recomendação de 300 mL de solução açucarada para cada 50 kg de sementes.

A dosagem do inoculante a ser utilizada depende das recomendações técnicas do fabricante, sendo variáveis para a formulação turfosa ou líquida. No procedimento de mistura do inoculante com as sementes, a utilização de equipamentos rotativos, como uma betoneira, pode contribuir operacionalmente para essa atividade. O recomendável é que o recipiente de mistura seja utilizado somente para essa finalidade, evitando contaminação por agroquímicos, o que pode reduzir a eficiência do processo de inoculação. Após a inoculação, é ideal deixar as sementes secarem à sombra por pelo menos 30 minutos e, na sequência, realizar a semeadura. Porém, caso não seja possível realizar a semeadura em até 24 horas, devem-se manter as recomendações de armazenamento à sombra e em local de temperatura amena, e repetir a inoculação no dia da semeadura.

Nas culturas inoculadas é necessário redobrar a atenção com a aplicação de agrotóxicos (bactericidas, fungicidas), uma vez que estes podem reduzir as comunidades de microrganismos benéficos para as plantas, sejam eles nativos ou introduzidos via inoculantes. O cuidado deve ser redobrado se o uso desses produtos for feito no tratamento de sementes, devendo-se primeiro aplicar os agrotóxicos, deixar as sementes secarem e depois realizar o processo de inoculação. Nesse sentido, uma alternativa que vem sendo adotada é a inoculação diretamente no sulco de plantio. Nesse caso, indica-se a utilização de 2,5 vezes a dose do inoculante recomendada para a aplicação via semente, diluída em ao menos 50 L/água/ha. A inoculação no sulco é mais eficaz em áreas nas quais já foram realizados vários cultivos com o uso de sementes inoculadas, quando comparadas às áreas de primeiro plantio.

Outro fator a ser considerado é a aplicação de alguns adubos, como, por exemplo, os nitrogenados em leguminosas, sendo que o processo de associação entre microrganismo e planta ficará comprometido, considerando que a planta terá a demanda do macronutriente atendida via adubação. Por outro lado, existem nutrientes que não podem faltar para garantir o sucesso da fixação biológica de nitrogênio, como o molibdênio e o cobalto, mas esses serão os temas dos nossos próximos artigos. Não deixe de conferir!

O EFEITO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA DE ARRANQUE NA FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO

O produtor rural, o técnico, o auxiliar e muitos extensionistas de campo têm dúvidas. Há necessidade de realizar a adubação com nitrogênio mineral em culturas como soja e milho, quando as sementes foram inoculadas com bactérias capazes de fixar nitrogênio atmosférico? Qual o efeito da adubação nitrogenada de arranque sobre a fixação biológica de nitrogênio (FBN)?

Analisando a distribuição do nitrogênio (N) na natureza, constata-se sua predominância na composição do ar atmosférico de 78%, o que permite a configuração de um reservatório praticamente inesgotável, uma vez que existem processos que reabastecem constantemente a atmosfera. No entanto, apesar dessa abundância, a forma de N presente no ar não é diretamente utilizada pelas plantas, sendo a FBN o único processo biológico de obtenção de N, que pode beneficiá-las. O processo de FBN é realizado por um grupo restrito de organismos ditos diazotróficos, com destaque para bactérias que vivem em simbiose e em associação com as plantas. Essas bactérias contêm o complexo enzimático da nitrogenase, sendo capazes de quebrar a tripla ligação que une os dois átomos de nitrogênio atmosférico e fazer a redução do N_2 a amônia (NH_3^+).

Nessa premissa, como ocorre a FBN em soja e qual o efeito da adubação nitrogenada? Em soja, o processo simbiótico é realizado por bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, que colonizam as raízes da planta pelos radiculares, formando nódulos e fornecendo, em média, entre 85 e 94% da exigência de N pela planta, sendo o restante complementado principalmente pelo solo, a partir da decomposição da matéria orgânica. Resultados obtidos por diversas instituições de pesquisa, em diferentes regiões produtoras de soja no Brasil, demonstram e confirmam que a aplicação de fertilizante nitrogenado reduz a nodulação e não incrementa a produtividade da soja em nenhum estágio de desenvolvimento da planta.

No campo, é comum o uso de formulações que tragam alguma quantidade de N, e as mais utilizadas resultam em um aporte bruto na ordem de 20 kg/ha de N, o que corresponde a um aporte líquido de 10 kg/ha de N, considerando que a eficiência de utilização dos fertilizantes nitrogenados raramente ultrapassa 50%. Desse modo, o uso de fontes que tragam N pode ser feito somente se forem mais econômicas que as fontes sem N e não devem ultrapassar 20 kg/ha de aporte líquido de N, para não trazer prejuízos à nodulação. E por que essa quantidade de N, mesmo que pequena, influencia negativamente a inoculação? O N do fertilizante é mais facilmente absorvido pela planta, pois se encontra em uma forma prontamente disponível, ao passo que, no processo biológico de FBN, a planta precisa investir energia inicial na formação de nódulos. Qual a lógica disso? A planta irá optar pelo caminho mais rápido e com menor gasto de energia.

Então, produtor, técnico, auxiliar ou extensionista, não é necessário investir em adubo nitrogenado só para dar “aquele arranque inicial” na soja, visto que o N mineral é um fertilizante caro e não adiciona efeitos positivos na produtividade da cultura, sendo a prática totalmente desnecessária.

E na cultura do milho, como ocorre a FBN? As recomendações quanto à adubação nitrogenada de arranque são iguais à cultura da soja? Dentre as bactérias capazes de se associar às raízes de milho e realizar a FBN, destacam-se as espécies do gênero *Azospirillum*, que, diferentemente dos rizóbios em simbiose com as leguminosas, não formam nódulos, porém colonizam a superfície das raízes, rizosfera (região do solo com delimitação física de 2 e 3 milímetros ao redor das raízes, oscilando de acordo com o estágio de desenvolvimento vegetal) e até o interior do tecido vegetal, excretando somente parte do N fixado diretamente para a planta associada. Ou seja, há a necessidade de contribuição com aporte adicional de N à cultura. Essa estratégia de combinar a inoculação com a aplicação de fertilizantes nitrogenados pode possibilitar a substituição de até 40% da dose recomendada de N para cultura do milho.

Diversos estudos mostram que a inoculação associada à aplicação de apenas 24 kg/ha de N na semeadura não afeta o processo de FBN e garante rendimentos à cultura na ordem de 3.400 kg/ha, que são economicamente relevantes para a agricultura familiar. Já com a suplementação adicional em cobertura de 30 kg/ha de N, é possível alcançar produtividades superiores a 7.000 kg/ha, permitindo à cultura expressar seu máximo potencial produtivo e caracterizando-se relevante para agricultura altamente tecnológica. Todavia, cuidados com a suplementação elevada de N devem ser observados, pois pode afetar negativamente a atividade das bactérias quanto à FBN, visto que para a planta há gasto de energia nessa associação.

Então, produtor, técnico, auxiliar ou extensionista, é necessário investir em adubo nitrogenado para dar “aquele arranque inicial” no milho, visto que o N mineral associado à inoculação possibilita incrementos significativos na produtividade da cultura, sendo a prática totalmente necessária para garantir a expressão do máximo potencial produtivo. E, nesse caso, tanto o produtor quanto o vendedor de fertilizantes ganham.

Refleta sobre isso no próximo plantio, e certifique-se da utilização de inoculantes registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), dentro do prazo de validade, e que a inoculação seja bem realizada, seguindo rigorosamente as orientações técnicas indicadas para cada produto e o método de inoculação (veja artigo anterior “Cuidados com os inoculantes e com a inoculação”, da série “Microrganismos do solo: os aliados do agricultor”).

A exploração e a utilização da FBN em sistemas agrícolas, visando ao suprimento

total ou parcial do N fornecido por meio de fertilizantes industriais, é uma estratégia fundamental, ecologicamente correta e economicamente viável, essencial à agricultura sustentável e ao agronegócio mundial.

POR QUE PLANTAS “BEM NUTRIDAS” ALCANÇAM A PRODUTIVIDADE ÓTIMA COM A FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO?

É fato! Plantas “bem nutridas” podem alcançar a produtividade ótima com a fixação biológica de nitrogênio (FBN). - *Como assim, plantas “bem nutridas”?* Existe relação entre a nutrição das plantas e a FBN? - A resposta para essas questões é SIM! Após ler este texto, você entenderá o porquê e será convidado a refletir e a responder a uma pergunta.

Pesquisadores da área da Nutrição Mineral, há tempos, constataram que as plantas absorvem e utilizam os nutrientes dos substratos nos quais são cultivadas. Sendo assim, está claro que o sucesso de uma cultura é dependente da quantidade de macro e micronutrientes que ela absorve e utiliza em seus processos bioquímicos (até um certo limite!). É por isso que o conhecimento do solo, o procedimento da adubação, considerando a quantidade, e momento adequado são tão importantes! Apesar disso, tenha atenção: há outras condições e muitos recursos que favorecem a produtividade ótima das culturas (a produtividade que é condicionada pelo seu potencial genético). Dentre tais fatores, estão a disponibilidade hídrica, a luminosidade e temperatura ideais, a razão de CO_2/O_2 adequadas, ausência de herbivoria e de competição. Tais fatores serão desconsiderados neste texto, uma vez que seu foco está na relação entre nutrição das plantas e FBN. Então vamos ao contexto da nutrição das plantas?

Para que um elemento químico seja considerado um nutriente essencial, é necessário que ele atenda a critérios previamente estabelecidos, sendo eles: sua deficiência impede as plantas de completarem seu ciclo de vida; não existe a possibilidade de substituí-lo por outro (mesmo que ambos tenham propriedades similares); e faz parte do metabolismo das plantas. Do ponto de vista metabólico, considera-se que plantas “bem nutridas” são aquelas que não possuem distúrbios na formação e estrutura de paredes celulares, proteínas e complexos proteicos, atividade de enzimas, reações redox e/ou balanço iônico. Alterações em um ou mais desses processos implicam em decréscimos na fotossíntese e, conseqüentemente, na liberação de energia para o crescimento e o desenvolvimento vegetal. Como resultado desses decréscimos, pode-se citar as reduções na produtividade das culturas.

A produtividade das culturas é dependente de um balanço entre os carboidratos que são produzidos na fotossíntese e os que são oxidados na respiração, além do fato de tais processos requererem nutrientes essenciais para o bom funcionamento vegetal. Sendo assim, faz-se necessário compreender como disponibilizar nutrientes às culturas com baixo custo e de forma sustentável. Nesse sentido, o ponto de partida para tal compreensão está no conhecimento das características do solo e como elas características podem interagir com as plantas e influenciar, inclusive, as relações simbióticas estabelecidas no sistema

solo-planta.

A avaliação, prévia ao plantio, do pH e das concentrações de nutrientes presentes no solo é primordial para o conhecimento desse sistema e para o estabelecimento de estratégias e aplicação de fertilizantes, a fim de corrigir as deficiências nutricionais preexistentes no solo e garantir que as culturas alcancem a produtividade ótima. Tal produtividade, tão almejada pelos produtores, deve estar atrelada ao fato de as plantas estarem “bem nutridas”. Assim, por exemplo, quando nitrogênio (N) e fósforo (P) estiverem disponíveis no solo em níveis ideais, não serão observados prejuízos ao metabolismo de aminoácidos, na formação de nucleotídeos e membranas celulares. Adicionalmente, quando magnésio (Mg) e ferro (Fe) estiverem presentes em níveis ideais, não serão observados danos à fotossíntese. Está claro como a nutrição da planta é importante para todos os seus processos metabólicos e, inclusive, para a FBN, que é um processo biológico de conversão do nitrogênio atmosférico (N_2) em amônia (NH_3), pela enzima nitrogenase.

A enzima nitrogenase é composta por molibdênio (Mo) e Fe. A leghemoglobina, que atua levando oxigênio (O_2) para os nódulos sem afetar a atividade da nitrogenase (pois essa enzima se desnatura na presença de O_2), possui em sua composição o elemento cobalto (Co). O Fe geralmente está disponível em quantidades suficientes para as plantas, portanto, desses três elementos, é comum aplicar apenas o Co e o Mo e isso pode ser feito via sementes (Figura 1A), via foliar ou diretamente no solo, sendo as duas primeiras formas as mais comuns. O níquel (Ni) compõe a enzima hidrogenase, que eleva a eficiência energética do processo de FBN e protege a enzima nitrogenase da presença de O_2 . Porém, são raras as recomendações de adubação com Ni, devido ao seu possível efeito tóxico.

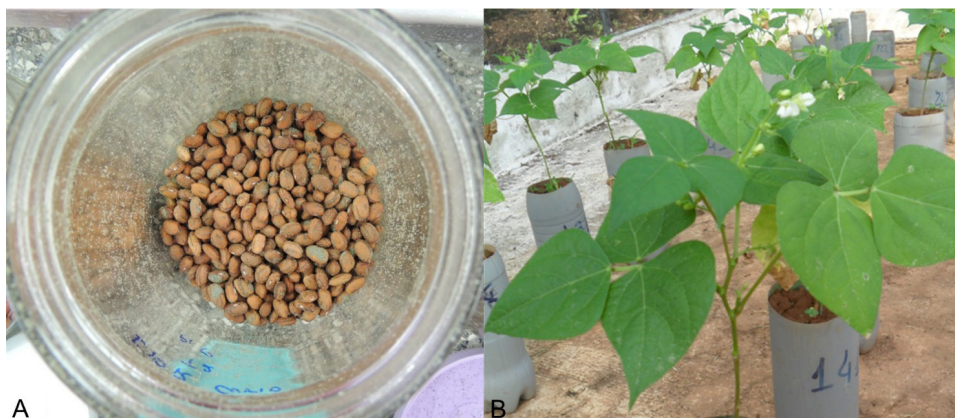


Figura 1 – Adubação de sementes de feijão com molibdênio (A) e planta de feijoeiro nutrida com todos os elementos essenciais mostrando coloração verde, indicadora de sucesso do processo de FBN (B).

Fotos de Stella C. G. Matoso.

O enxofre (S) é um macronutriente secundário frequentemente negligenciado na correção do solo e adubação na região Norte do país. Porém, devemos ter atenção, pois esse nutriente está diretamente relacionado com o sucesso da FBN. Estudos bioquímicos e imunológicos mostraram estreita relação entre a oferta de S e o teor de proteína nos nódulos, particularmente, nitrogenase e leghemoglobina. Isso ocorre devido à alta proporção de aminoácidos contendo S em ambos os componentes do complexo nitrogenase, a proteína Fe e a proteína Fe-Mo. Como vimos, tanto a nitrogenase quanto a leghemoglobina são essenciais para que ocorra a FBN. Na Figura 2, vemos os sintomas de deficiência de S em plantas de soja, uma clorose dos folíolos superiores de plantas.

Alguns autores demonstraram um envolvimento direto do K na ativação da enzima nitrogenase. Também determinaram que o fornecimento adequado de K é necessário para sustentar a produtividade dos nódulos, por meio da ativação das enzimas assimiladoras de N, incluindo aquelas envolvidas na assimilação de amônia, interconversões de aminoácidos, fornecimento de carbono e transdução de energia.

Existem outros nutrientes relacionados com o processo de FBN, como, por exemplo, o cálcio (Ca) e o P. O Ca é componente estrutural da parede celular e, portanto, necessário para a boa formação dos nódulos em plantas leguminosas. O P constitui a molécula de energia das plantas (adenosina trifosfato - ATP) e, como a FBN tem um alto custo metabólico (para cada molécula de N_2 fixada são gastas 16 moléculas de ATP), a disponibilidade de P é um fator relevante para o sucesso do processo.



Figura 2 – Clorose dos folíolos superiores de plantas de soja devido à deficiência de enxofre.

Fotos de Stella C. G. Matoso.

Como os nutrientes, em concentrações adequadas, são importantes para a produtividade das culturas, não é? Porém, convém destacar que o alumínio (Al) pode ter sua concentração aumentada pela FBN e causar toxidez às plantas, sendo, portanto, necessário neutralizar a acidez gerada pela FBN.

Em suma, o conhecimento da demanda nutricional das culturas e do estoque de nutrientes do solo é primordial. O segredo para a otimização da FBN está na nutrição ideal das plantas, uma vez que ela garante crescimento, desenvolvimento e metabolismo conforme o condicionado pelo potencial genético das espécies, com implicações positivas sobre a produtividade ótima das culturas (Figura 1B). Diante disso, reflita e responda à seguinte pergunta: - *O desafio para o cultivo de plantas “bem nutridas” para uma FBN ideal e um rendimento econômico satisfatório está lançado?*

MICORRIZAS ARBUSCULARES: IMPORTÂNCIA E PERSPECTIVAS DE APLICAÇÃO NA AGRICULTURA RONDONIENSE

Ao falarmos em absorção de água e nutrientes pelas plantas, quase sempre pensamos na raiz. Embora realmente seja o principal órgão vegetal responsável por essa função, para mais de 80% das espécies de plantas terrestres, incluindo a maioria das culturas agrícolas, as micorrizas arbusculares também são fundamentais nesse e em outros processos. De forma simples, podemos definir “micorriza arbuscular” como a associação mutualística que se estabelece entre as raízes das plantas e os fungos micorrízicos arbusculares.

Esses fungos, embora invisíveis a olho nu, estão presentes no solo e nas raízes, oferecendo diversos serviços ecossistêmicos, ou seja, benefícios ambientais. Como já foi referido, os fungos micorrízicos arbusculares melhoram a absorção de água e de nutrientes pelas plantas (particularmente o fósforo), ao tempo que aumentam a sobrevivência dos vegetais em condições adversas como seca, salinidade e presença de contaminantes no solo. Como se fosse pouco, os fungos micorrízicos arbusculares formam uma substância proteica chamada “glomalina”, que contribui com a manutenção da estabilidade física do solo, prevenindo processos erosivos.

É possível otimizar os benefícios derivados da simbiose micorrízica no campo a partir de duas estratégias principais. A primeira é a implementação de práticas agrícolas capazes de preservar ou estimular as comunidades de fungos micorrízicos arbusculares originalmente presentes no solo. Por exemplo, diminuir o revolvimento do solo e o uso excessivo de insumos químicos, promover a rotação de culturas e manter a cobertura vegetal do solo. Adicionalmente, evitar o plantio repetido ou prolongado de culturas não micotróficas ou com baixo grau de micotrofia (capacidade de formar micorrizas) também é importante para conservar a diversidade micorrízica no solo. Desde o ponto de vista agrícola, destacam-se nessas categorias culturas das famílias Brassicaceae (ex. canola, mostarda, nabo forrageiro, repolho), Chenopodiaceae (ex. quinoa, espinafre) e Amaranthaceae (ex. beterraba). Para uma lista completa das famílias de plantas não micorrízicas, consultar Brundett (2009). Finalmente, existem produtos no mercado cuja promessa é justamente a estimulação das comunidades micorrízicas nativas. No Brasil, o fertilizante INRIZZA (Timac AGRO) traz essa proposta, gerando aumentos na nutrição vegetal, na bioatividade edáfica e, finalmente, na produtividade agrícola.

A segunda estratégia é a inoculação de fungos micorrízicos arbusculares. Os inoculantes micorrízicos são uma realidade em diversos países do mundo, onde são comercializados com excelentes resultados na agricultura orgânica e convencional, e inclusive na produção de mudas florestais e recuperação de áreas degradadas. No Brasil, a legislação vigente sobre inoculantes biológicos é regida pela Instrução Normativa SDA Nº

13, de 24 de março de 2011, orientada a inoculantes de bactérias fixadoras de nitrogênio cujo sistema produtivo e de controle de qualidade muito diferem daqueles envolvendo os fungos micorrízicos arbusculares. Conseqüentemente, mudanças na legislação são necessárias para ampliar a gama de produtos micorrízicos disponíveis no mercado brasileiro.

Em que pese à referida restrição, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) recentemente autorizou a comercialização de um inoculante micorrízico no país. Trata-se de um produto comercializado no Brasil sob o nome de Rootella BR (NOVATERO BioAg). De acordo com as especificações oferecidas no site da empresa, é o primeiro inoculante do tipo registrado pelo MAPA, apresentando comprovada eficiência no aumento da produtividade de culturas como soja, milho, feijão e trigo.

No estado de Rondônia, a aplicação de uma ou ambas as estratégias pode contribuir com o desenvolvimento de uma agricultura mais sustentável e produtiva para a região. Algumas das culturas de maior destaque no Estado são altamente micotróficas. A soja, por exemplo, pode atingir 80% de dependência micorrízica. Na cultura, os fungos micorrízicos arbusculares podem aumentar o crescimento, a absorção de fósforo e nitrogênio e a produção de grãos, sendo esses benefícios ainda superiores se inoculados em conjunto com bactérias fixadoras de nitrogênio (MIRANDA; MIRANDA, 2002). Por outro lado, a dependência micorrízica na mandioca pode atingir 95%. A micorriza arbuscular nessa cultura tem sido associada a uma maior produtividade e aproveitamento da calagem e da adubação fosfatada (MIRANDA *et al.*, 2005).

Outras culturas com elevado nível de micotrofia e igualmente importantes no desenvolvimento atual e futuro do setor agrícola no Estado incluem o café e o algodão. A inoculação com fungos micorrízicos arbusculares estimula o crescimento e a nutrição vegetal no cafeeiro, com conseqüentes aumentos produtivos (COGO *et al.*, 2016). Particularmente, a fase de produção de mudas mostra-se como uma das mais indicadas para realizar a inoculação, com efeitos positivos inclusive em clones de café Conilon da variedade BRS Ouro Preto (ARDITO *et al.*, 2017), cujo plantio no estado rondoniense vem ganhando cada vez mais espaço. Por outro lado, a recente expansão da cultura do algodão em Rondônia também pode ser favorecida pelo manejo ou inoculação micorrízica, dada a elevada dependência da cultura à simbiose com os fungos micorrízicos arbusculares (Figura 1).

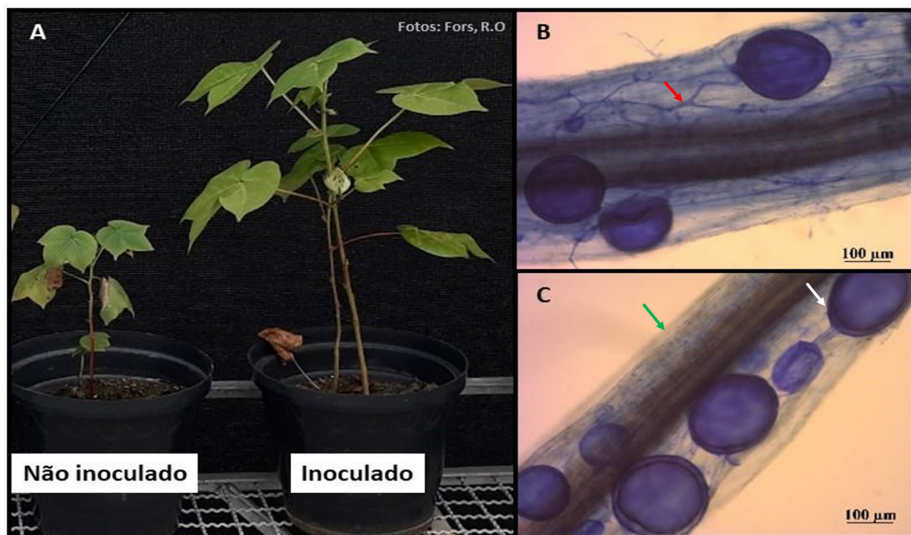


Figura 1 – Efeito da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares - FMA (A) e colonização micorrízica radicular (B, C) em plantas de algodão. As setas em verde representam a raiz, em vermelho as hifas de FMA, e em branco os esporos de FMA.

Concluindo, seja através da inoculação ou do manejo das comunidades nativas, os fungos micorrízicos arbusculares muito têm a oferecer no caminho de uma produção agrícola ambiental e economicamente sustentável. O seu efeito na nutrição das plantas não apenas pode aumentar a produtividade, mas também reduzir a dependência agrícola em fertilizantes químicos, especialmente os fosfatados. Adicionalmente, os benefícios ecossistêmicos obtidos a partir da implementação das estratégias aqui apresentadas podem ter um papel fundamental no desenvolvimento de uma agricultura mais resiliente, tendo em vista a maior tolerância das plantas micorrizadas aos efeitos negativos das mudanças climáticas.

O PAPEL DOS MICRORGANISMOS DO SOLO NA DEFESA DA PLANTA

Geralmente, os microrganismos são vistos no cenário agrícola sob um ponto de vista negativo, como causadores de doenças em plantas. Mas o fato é que existem diversos organismos que podem e são utilizados em prol de uma produção agrícola mais eficiente e sustentável. Quando falamos de microrganismos do solo, a diversidade de espécies e as suas complexas relações com o ambiente e as plantas são um mundo de possibilidades a serem exploradas.

Já vimos, nesta série, que no solo existem fungos e bactérias capazes de promover um melhor crescimento e desenvolvimento das plantas, e nesta edição abordaremos que é possível cuidar da sanidade das plantas fazendo uso desses organismos.

A rizosfera é a zona em que as raízes ficam em contato com o solo ao seu entorno, e a relação entre os microrganismos que ali residem e as plantas é chamado de microbioma (HINSINGER; MARSCHNER, 2006). Grande parte dos organismos presentes na rizosfera interagem com a planta de forma mutualística, ou seja, são beneficiados por ela assim como proporcionam algum benefício ao vegetal, como é o caso das bactérias fixadoras de nitrogênio, rizobactérias promotoras do crescimento de plantas, fungos micorrízicos, organismos que atuam no controle biológico, entre outros. Por outro lado, no solo também existem aqueles microrganismos indesejáveis, que são os responsáveis pela ocorrência de doenças radiculares e vasculares em plantas. Tais doenças são causadas principalmente por fungos, bactérias e nematoides que são tratados genericamente como patógenos de solo ou fitopatógenos habitantes do solo. Na Figura 1, temos uma imagem do sistema radicular da alface atacada por nematoides.

As doenças causadas por patógenos de solo podem reduzir significativamente o rendimento de várias culturas de valor comercial e social, e são geralmente de difícil controle. Esses patógenos são extremamente adaptados ao solo e podem sobreviver por muito tempo se nutrindo da matéria orgânica ou formando estruturas de resistência, como é o caso de *Sclerotinia sclerotiorum*, que é o fungo causador do mofo branco em soja. Esse fungo forma uma estrutura chamada de escleródio, que pode permanecer viável no solo por vários anos.



Figura 1 – Sintomas causados por nematoide das galhas (*Meloidogyne incognita*) em alface.

Foto de Jessica Danila Krugel Nunes.

Todavia, há alguns tipos de solo nos quais determinados patógenos não conseguem aumentar suas populações ou, se conseguem, não causam a doença nas plantas que ali estão. São conhecidos como solos supressivos. Essa capacidade do solo de suprimir o desenvolvimento de patógenos ou doenças pode ser causada por fatores ligados às suas características físico-químicas e biológicas, podendo variar a longo prazo de acordo com as práticas de manejo adotadas. A manipulação do solo, o tipo de fertilização empregada e a rotação de culturas podem influenciar significativamente a capacidade do solo de suprimir doenças de plantas (TAM *et al.*, 2010).

Na literatura podem ser encontrados relatos de solos supressivos a diversos patógenos, entre os quais podemos destacar *Fusarium*, *Sclerotium*, *Phytophthora*, *Verticillium* e *Pythium*, que são responsáveis por doenças que causam sérios danos em diversas plantas hospedeiras e perdas significativas na produção de alimentos.

Os estudos realizados com o controle biológico de patógenos de solo são feitos principalmente com fungos e bactérias e seus resultados têm demonstrado que solos com alta diversidade biológica apresentam maior capacidade de suprimir os patógenos (BETHIOL; GHINI, 2005). Desse modo, solos supressivos são comuns em ambientes ecologicamente equilibrados, em que as relações entre os microrganismos e os constituintes físico-químicos do solo encontram-se estabilizadas.

Para aumentar a supressividade de um solo aos agentes patogênicos, é necessário aumentar a adição de insumos orgânicos e a diversidade de plantas utilizadas na rotação de culturas (BETTIOL *et al.*, 2009), bem como reduzir as práticas de revolvimento do solo. Com a adoção desse tipo de manejo, é possível promover um ambiente equilibrado e

estável, que seja adequado ao desenvolvimento de organismos benéficos em detrimento dos patógenos de solo, conferindo importante estratégia para a sustentabilidade do ambiente produtivo. Os fungos são o grupo de microrganismos mais estudados entre os organismos envolvidos na supressividade do solo, em virtude do seu potencial para a geração de produtos comerciais (REZENDE *et al.*, 2021). Entre eles, o gênero *Trichoderma* (Figura 2) é conhecido por seu importante papel na produção agrícola, devido à facilidade com a qual coloniza a rizosfera e outras partes da planta e promove diversos efeitos benéficos para o desenvolvimento vegetal (MAYO PIETRO *et al.*, 2020).

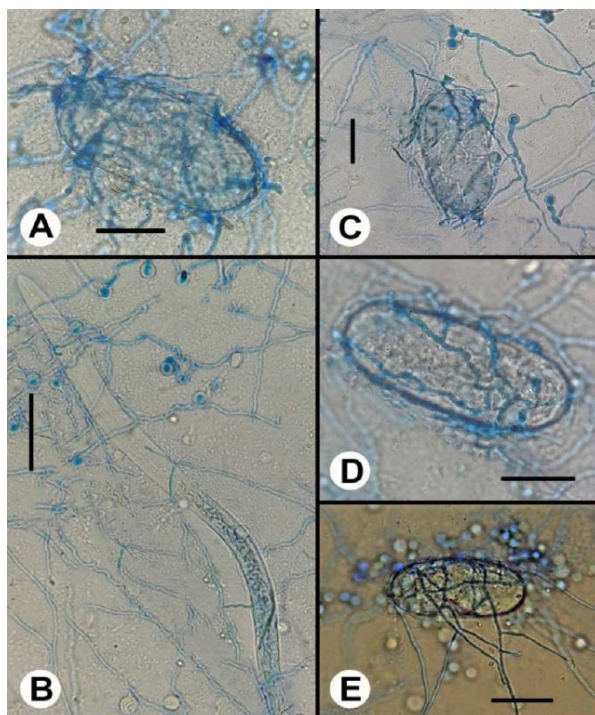


Figura 2 – Efeito de isolados de *Trichoderma* sobre ovos e formas juvenis de segundo estágio de *Meloidogyne enterolobii*. Parasitismo de *T. longibrachiatum* sobre ovo de *M. enterolobii* (A). Enrolamento das hifas de *T. atroviride* sobre J2 de *M. enterolobii* (B). Degradação da parede celular do ovo de *M. enterolobii* por *T. atroviride* (C). Parasitismo de *T. brevicompactum* sobre ovo de *M. enterolobii* (D). Colonização de ovo de *M. enterolobii* por *T. asperellum* (E). Escala de barras: A, C e D= 30 μ m, B= 70 μ m, E= 40 μ m.

Fonte: Amaral *et al.* (2018).

Trichoderma sp. são fungos de vida livre que possuem a capacidade de exercer o controle biológico por meio de mecanismos como o parasitismo, hiperparasitismo, competição e indução de resistência (GUIMARÃES *et al.*, 2018). Ademais, estudos indicam que esse gênero também atua como promotor do crescimento vegetal, pois tem a capacidade de produzir fitormônios, solubilizar fosfatos e outros minerais (FRANÇA *et al.*,

2017). Por ser um microrganismo capaz de desempenhar várias funções em sua relação com as plantas, ele faz parte de um grupo conhecido como microrganismos multifuncionais.

Além disso, já é reconhecido que *Trichoderma*, em combinação com outras espécies, como *Bacillus* sp. ou *Rizhobium* sp., é capaz de melhorar a eficiência do uso de nitrogênio e induzir a defesa de plantas contra estresses bióticos e abióticos (MAYO PIETRO *et al.*, 2020). A utilização combinada de diferentes microrganismos com diferentes funções é chamada de coinoculação e vem ganhando espaço em culturas como a soja, por conta do potencial sinérgico dessas combinações.

Entre as bactérias que são capazes de atuar no controle biológico, as dos gêneros *Pseudomonas* e *Bacillus* são as mais estudadas. No gênero *Bacillus*, as espécies *Bacillus subtilis* e *Bacillus pumilus* atuam como antagonistas tanto de fungos como de outras bactérias fitopatogênicas (BETTIOL *et al.*, 2009). Como visto, as bactérias são muito importantes, pois seu papel não fica restrito apenas à ação direta nos patógenos por antibiose, que é a produção de compostos tóxicos que podem bloquear o desenvolvimento ou a reprodução do patógeno, ou competição. Elas também são capazes de promover um melhor desenvolvimento e crescimento da planta, o que a torna menos suscetível ao ataque de patógenos.

Por fim, podemos afirmar que a saúde da planta está intimamente associada à microbiota do solo, e a boa notícia é que é possível fazer o uso de produtos comerciais à base de *Trichoderma*, *Pseudomonas* e *Bacillus*. É importante sempre respeitar as recomendações técnicas desses produtos para desfrutar das inúmeras vantagens obtidas com a melhoria da diversidade biológica do solo. Também é fundamental salientar que precisamos melhorar as condições edáficas e propiciar um ambiente adequado para a manutenção do equilíbrio no solo, para que esses microrganismos consigam exercer seu potencial de promover o crescimento e a sanidade em plantas cultivadas.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, A. C. T. do; LIRA, V. L.; MOURA, R. M. de; TIAGO, P. V.; OLIVEIRA, N. T. de. Biocontrole de espécies de *Trichoderma* sobre *Meloidogyne enterolobii*. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 15, n. 2, p. 159-166, 2018.
- ARDITO, A. C.; SAGGIN-JUNIOR, O. J.; FORS, R. O.; COSTA, R. S. C.; SILVA, E. M. R. Arbuscular mycorrhizal fungi selection for *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner clonal cultivar conilon 'BRS OURO PRETO'. **Coffee Science**, v. 12, n. 4, p. 486-497, 2017.
- BETTIOL, W.; GHINI, R. Solos supressivos. In: MICHEREFF, F.; ANDRADE, D. E. G.T.; MENEZES, M. (Eds.) **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais**. Recife, PE: Imprensa Universitária da Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2005. p. 125-152.
- BETTIOL, W.; GHINI, R.; MARIANO, R. R. L.; MICHEREFF, S. J.; MATTOS, L. P. V.; ALVARADO, I. C. M.; PINTO, Z. V. Supressividade a fitopatógenos habitantes do solo. In: BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. (Eds.) **Biocontrole de doenças de plantas: usos e perspectivas**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2009. p. 187-208.
- BRANDÃO JÚNIOR, O.; HUNGRIA, M. Efeito de concentrações de solução açucarada na aderência do inoculante turfoso às sementes, na nodulação e no rendimento da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 3, p. 515-526, 2000.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa nº 13/2011/DF**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 24 mar. 2011. Disponível em: <<https://www.diariodasleis.com.br/legislacao/federal/216614-normas-sobre-especificacoes-garantias-registro-embalagem-e-rotulagem-dos-inoculantes-destinados-a-agricultura-aprovar-as-normas-sobre-especificacoes-garantias-registro-emb.html>>. Acesso em: 02 fev. 2022.
- BRUNDRETT, M. C. Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis. **Plant Soil**, v. 320, p. 37-77, 2009.
- CARDOSO, E. J. B. N; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2 ed. Piracicaba: ESALQ, 2016. 221 p.
- COGO, F. D.; GUIMARÃES, P. T. G.; ROJAS, E. P.; SAGGIN-JÚNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O.; CARBONE, M. A. C. Arbuscular mycorrhiza in *Coffea arabica* L.: Review and Meta- Analysis. **Coffee Science**, v. 12, n. 3, p. 419-443, 2017.
- DIVITO, G. A.; SADRAS, V. O. How do phosphorus, potassium and sulphur affect plant growth and biological nitrogen fixation in crop and pasture legumes? A meta-analysis. **Field Crops Research**, v. 156, p. 161-171, 2014.
- HINSINGER, P.; MARSCHNER, P. Rhizosphere: perspectives and challenges: a tribute to Lorenz Hiltner. **Plant and Soil**, v. 283, p. vii-viii, 2006.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 80 p. (Documentos, 283).

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense***: inovação em rendimento a baixo custo. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 36 p. (Documentos, 325).

MAYO PIETRO, S.; CAMPELO, M. P.; LORENZANA, A.; RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, A.; REINOSO, B.; GUTIÉRREZ, S.; CASQUERO, P. A. Antifungal activity and bean growth promotion of *Trichoderma* strains isolated from seed vs soil. **European Journal of Plant Pathology**, v. 158, p. 817-828, 2020.

MIRANDA, J. C. C.; FIALHO, J. F.; MIRANDA, L. N. **Importância da micorriza arbuscular para o cultivo de mandioca na região do Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005. 4 p. (Comunicado Técnico, 119).

MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. **Importância da micorriza arbuscular para o cultivo da soja na região do Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 5 p. (Comunicado Técnico, 75).

MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STURME, S. L. **O ecossistema solo**: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal. Lavras: UFLA, 2013. 352 p.

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

NOVATERO. **BioAg: Rootella BR**. Disponível em: <www.rootellabr.com.br>. Acesso em: 21 mar. 2022.

REZENDE, C. C.; SILVA, M. A.; FRASCA, L. L. M.; FARIA, D. R.; FILIPI, M. C. C.; LANNA, A. C.; NASCENTE, A. S. Microrganismos multifuncionais: utilizações na agricultura. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, e50810212725, 2021.

TAMM, L.; THÜRIG, B.; BRUNS, C.; FUCHS, J. G.; KÖPKE, U.; LAUSTELA, M.; LEIFERT, C.; MAHLBERG, N.; NIETLISPACH, B.; SCHMIDT, C.; WEBER, F.; FLIEßBACH, A. Soil type, history management, and soil changes influence soil development (*Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum*) and air-borne (*Phytophthora infestans*, *Hyaloperonospora parasitica*) diseases. **European Journal of Plant Pathology**, v. 127, p. 465-481, 2010.

TIMAC AGRO. **INRIZZA**. Disponível em <<https://www.timacagro.com.br/tecnologia/inrizza/>>. Acesso em: 21 mar. 2022.

STELLA CRISTIANI GONÇALVES MATOSO - Professora do Instituto Federal de Rondônia, *Campus* Colorado do Oeste. Engenheira Agrônoma, Mestre em Produção Vegetal e Doutora em Biodiversidade e Biotecnologia. Link para acesso ao Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/1171198044514295>

ANGELITA APARECIDA COUTINHO PICAZEVICZ - Professora Doutora do Instituto Federal de Rondônia, *Campus* Cacoal, Engenheira Agrônoma, Mestre e Doutora em Produção Vegetal. Link para acesso ao Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/9808078161906025>

ERICA DE OLIVEIRA ARAÚJO - Professora do Instituto Federal de Rondônia, *Campus* Colorado do Oeste, Engenheira Agrônoma, Mestre e Doutora em Produção Vegetal. Link para acesso ao Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/4857160870850063>

ROBERTA CAROLINA FERREIRA GALVÃO DE HOLANDA - Professora do Instituto Federal de Rondônia, *Campus* Colorado do Oeste, Licenciada e Bacharel em Ciências Biológicas, Mestre em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente e Doutora em Fisiologia Vegetal. Link para acesso ao Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/6983202213580621>

ROSALBA ORTEGA FORS - Graduada em Biologia, Mestre e Doutora em Agronomia. Atua como colaboradora no Instituto Federal de Rondônia e no Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Portugal. Link para acesso ao Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/5502686080603737>

JESSICA DANILA KRUGEL NUNES - Professora do Instituto Federal de Rondônia, *Campus* Ariquemes, Mestre em Ciências Ambientais e Doutoranda em Agronomia (Fitopatologia). Link para acesso ao Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/6857466494203792>

MICROORGANISMOS DO SOLO: OS ALIADOS DO PRODUTOR

Série de artigos informativos
para a comunidade rural



-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

MICROORGANISMOS DO SOLO: OS ALIADOS DO PRODUTOR

Série de artigos informativos para a comunidade rural



 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br