

Manejo do nitrogênio em sistemas de produção de leguminosas de grãos em Rondônia

Dieini Melissa Teles dos Santos
Norma Gouvêa Rumjanek
Paulo Guilherme Salvador Wadt

Introdução

O estado de Rondônia tem apresentado crescimento sustentável na produção de grãos. Na safra 2020/2021 o crescimento foi na ordem de 4,6%, comparativamente à safra 2019/2020, alcançando uma área plantada de 663 mil hectares. Na cadeia de produção de grãos, o cultivo da soja alcançou uma área plantada de 400 mil hectares, respondendo por 60% da área cultivada com grãos no estado: um crescimento de 13,8% em relação à safra anterior.

Esse desempenho decorre da adoção de uma série de tecnologias de manejo fitotécnico e das condições climáticas em Rondônia que favorecem o crescimento das espécies produtoras de grãos, como oferta hídrica adequada, ausência de veranicos, temperaturas adequadas e boa insolação.

A expansão da cultura da soja ocorre prioritariamente em sucessão a áreas degradadas, pastagens abandonadas ou pastagens de baixa capacidade de suporte animal, e portanto, em terras cujos solos apresentam baixa fertilidade ou mesmo o esgotamento desta fertilidade.

Essas terras de expansão da soja ocupam diferentes domínios geológicos do estado, ocorrendo deste a região do vale do Guaporé, terras altas na região de Vilhena e Chupinguaia, até o norte-noroeste do Estado, numa ampla faixa de terras que vai do Município de Machadinho do Oeste até Porto Velho, na divisa com Nova Mamoré e o Estado do Acre.

Nesta ampla variabilidade ambiental, a sojicultura ocorre em uma grande gama de variabilidade de solos, desde aqueles solos com excelentes condições físicas, até solos com limitações por deficiência de oxigênio, os quais requerem drenagem superficial para rebaixamento do lençol freático. Predomina o relevo plano a suave ondulado.

A fertilidade dos solos é variável, principalmente quanto aos componentes da acidez, variando de solos pouco ácidos a muito ácidos. Quanto ao estoque de nutrientes, há também uma grande gama de variabilidade, com solos com disponibilidade variando de baixa a adequada para cálcio, magnésio e potássio. Em comum, os solos apresentam baixa disponibilidade de fósforo e de nitrogênio.

A necessidade da correção da acidez do solo e a construção de uma fertilidade adequada para o suprimento de fósforo e potássio requerem a importação de fertilizantes minerais, impactando negativamente a rentabilidade das culturas.

No tocante ao nitrogênio, a demanda deste nutriente pelas leguminosas de grãos pode ser suprida por meio da fixação biológica de nitrogênio (FBN). A fixação biológica de nitrogênio pode fornecer esse nutriente diretamente para a leguminosa, e ainda, reduzir a demanda de outras culturas cultivadas em sucessão, graças ao nitrogênio retido nos restos culturais (palha e biomassa de raízes das leguminosas).

A otimização da fixação biológica de nitrogênio, além do benefício direto de fornecer N a baixo custo ao produtor, por evitar os custos de aquisição, transporte, armazenamento e aplicação do nitrogênio por outras fontes minerais ou orgânicas, ainda tem a vantagem de ter um baixo custo energético e ambiental.

Comparativamente aos fertilizantes nitrogenados, cuja eficiência média do N adicionado ao sistema é da ordem de 70%, a fixação biológica de nitrogênio favorece a eficiência ao reduzir perdas por volatilização, lixiviação e erosão e contribui para a redução da emissão de gases de efeito estufa e a contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

Este trabalho tem como objetivo estimular a adoção das técnicas de inoculação das leguminosas de grãos, resgatando informações sobre técnicas de manejo para a associação simbiótica entre bactérias e leguminosas, com o propósito de suprir as demandas de nitrogênio e proporcionar maior rentabilidade à cadeia de produção de grãos.

O que é a fixação biológica de nitrogênio e quais os seus benefícios?

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é um processo resultante da associação simbiótica entre plantas e bactérias capazes de assimilar em compostos orgânicos o nitrogênio disponível abundantemente da atmosfera (gás nitrogênio - N_2).

Na atmosfera, o nitrogênio na forma química " N_2 " é inerte à maioria dos seres vivos, porém, certas bactérias possuem capacidade de transformá-lo em compostos nitrogenados aproveitáveis pelas plantas. O processo de transformar o N atmosférico em uma forma química que é utilizada pelas plantas, denomina-se fixação biológica de nitrogênio.

Essas bactérias são capazes de colonizar a raízes das leguminosas, onde se instalam em estruturas chamadas de nódulos. Os nódulos apresentam uma coloração típica que quando avermelhada, indica plena atividade da fixação do nitrogênio atmosférico.

O nitrogênio fixado pelas bactérias pode substituir parte ou todo o fertilizante nitrogenado requerido por uma cultura. Os restos culturais de leguminosas que se associam com bactérias fixadoras de N, em uma sucessão de culturas, melhoram a fertilidade do solo por disponibilizar um material orgânico proporcionalmente rico em nitrogênio.

Do ponto de vista ambiental, a fixação biológica do nitrogênio atmosférico reduz a emissão de gases de efeito estufa (como CO₂ e N₂O), e reduz o consumo de energia e a poluição ambiental decorrente do processo de fixação industrial do N atmosférico, para produção de ureia. Além disso, a contaminação de recursos hídricos provocada pelo nitrato da adubação nitrogenada não é observada quando o N é obtido pelo processo de fixação biológica.

O custo econômico do nitrogênio fixado biologicamente é centenas de vezes menor que o nitrogênio fixado industrialmente, já que os custos do processo industrial, de transporte, armazenamento, e até de sua distribuição nas lavouras é eliminado.

Sob a perspectiva biológica, a associação simbiótica entre bactérias fixadoras de nitrogênio e as plantas leguminosas é uma simbiose altamente complexa capaz de promover uma relação altamente eficiente e eficaz na redução de custos energéticos.

Sob a perspectiva da cadeia de produção para provimento de alimentos e serviços agrícolas aos seres humanos, a biotecnologia relacionada à fixação biológica de nitrogênio resulta em inúmeros benefícios econômicos, ambientais e sociais, colocando a agricultura brasileira na liderança tecnológica para a produção de grãos.

Somente a aplicação desta biotecnologia na cultura da soja resulta em uma economia anual na ordem de US\$ 10 bilhões, impactando positivamente na balança comercial e na competitividade da agricultura brasileira nos mercados mundiais.

Quais leguminosas de grãos se beneficiam da fixação biológica de nitrogênio?

As leguminosas são espécies vegetais que possuem associações simbióticas com as bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico. Entre as leguminosas de interesse econômico, a eficiência dessa

associação em fixar o nitrogênio varia de acordo como a planta, o microrganismo e as condições de clima e de solo.

A soja destaca-se entre as leguminosas de grãos por apresentar alta eficiência na associação simbiótica. Nesta cultura, a fixação biológica de nitrogênio pode substituir até 100% da demanda do nutriente, sem comprometer sua produtividade (Figura 1). Segundo sojicultores da região leste de Rondônia, a soja alcançou produtividade de 63 sacas ha^{-1} na safra 2020/2021, com o emprego da atividade da fixação biológica de N que foi potencializada pelas condições climáticas.

Essa associação entre a soja e bactérias do gênero *Bradyrhizobium* spp., constitui-se em um exemplo da importância desse processo biotecnológico na produção agrícola nacional.



Figura 1. Soja cultivada com e sem inoculação com bactérias do grupo rizóbio. Foto: Milton A. T. Vargas

Na cultura da soja, a fixação biológica de nitrogênio pode contribuir com até 300 kg ha^{-1} de N, e ainda disponibilizar de 20 a 30 kg ha^{-1} de N para as próximas culturas, por meio da palhada que fica sobre o solo após a colheita dos grãos.

No Brasil, pelo menos 28 milhões de hectares de soja são cultivados com essa técnica, e considerando uma adição média de 150 kg ha^{-1} de N, isto implica em uma redução na demanda industrial de N em pelo menos 10.243 mil toneladas de ureia anualmente.

Outra cultura que se beneficia da fixação biológica de nitrogênio é o feijão-caupi (Figura 2). A cultura foi introduzida no Nordeste e atualmente é cultivada nas regiões Norte e Centro-Oeste do país. Essa tecnologia tem sido empregada em cerca de 100 mil hectares, somente no Brasil.



Figura 2. Feijão-caupi inoculado com bactérias do grupo rizóbio. Foto: Norma G. Rumjanek

O feijão-caupi associado às bactérias adequadas, pode fixar nitrogênio em torno de 50 a 80 kg ha⁻¹, dispensando totalmente a adubação nitrogenada, quantidade suficiente para que a cultura alcance boas produtividades de grãos, semelhante ao que ocorre com a soja.

O cultivo do feijão-caupi é uma excelente alternativa para cultivo da safrinha no final da estação das chuvas, em virtude da tolerância as condições de solos e clima. Em Rondônia, o feijão-caupi poderia ser cultivado inclusive como safrinha, sendo plantado em consórcio com o milho da safrinha, em uma sucessão soja-milho/feijão-caupi-pousio.

A associação simbiótica com feijão comum não apresenta a mesma eficiência observada para a soja e o feijão-caupi; porém, pesquisas tem mostrado que a inoculação com bactérias do gênero *Rhizobium* spp. é capaz de suprir aproximadamente 70% do nitrogênio necessário para a cultura.

No caso do feijão comum, para atingir produtividade acima de 1.300 kg ha⁻¹ recomenda-se uma adubação complementar de 20 a 40 kg ha⁻¹ de N, em cobertura aos 25 dias após a emergência da planta.

Outra leguminosa do mesmo gênero que o feijão-caupi é o feijão-mungo conhecido como feijão verde que também forma associação com bactérias fixadoras de nitrogênio (Figura 3). Estudos mostram que o feijão-mungo é capaz de atingir altas produtividades beneficiando-se somente do nitrogênio fixado nos nódulos. O amendoim, é uma leguminosa que também se beneficia da fixação biológica de N, podendo substituir a adubação nitrogenada, de modo semelhante ao que ocorre com a soja e o feijão-caupi.



Figura 3. Feijão-mungo. Foto. Willian Pereira

O que é a inoculação e como utilizar um inoculante?

A inoculação é a técnica usada para aumentar a concentração de bactérias fixadoras de nitrogênio na superfície das raízes das leguminosas. As bactérias precisam estar viáveis para iniciar o processo de colonização das raízes logo que se inicia o processo de germinação das sementes e a emergência da planta.

O inoculante é um produto biotecnológico que contém uma quantidade conhecida de uma cepa bacteriana previamente selecionada para a maior eficiência da atividade de fixação biológica de nitrogênio e que possui capacidade de associação com as raízes da leguminosa.

Em condições naturais, todo solo sadio contém uma grande diversidade de bactérias nativas capazes de formar uma associação simbiótica com as leguminosas. Mas o benefício da inoculação está em garantir a maior presença de bactérias que sejam eficientes nos processos de associação simbiótica e de assimilação do nitrogênio atmosférico.

A inoculação das sementes realizada a cada safra é uma garantia de que haverá disponibilidade de bactérias em plena eficiência e em alta concentração junto às sementes, propiciando uma boa formação de nódulos no sistema radicular da cultura.

O produtor deve ficar atento que para cada cultura há um inoculante específico, produzido a partir de cepas bacterianas selecionadas. O Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) tem o registro das cepas e dos inoculantes para as culturas de grãos.

A produção desse insumo biotecnológico pode ser na forma líquida ou a base de turfa. A escolha do inoculante irá depender principalmente do manejo da semeadura. Se o plantio for mecanizado e a

inoculação feita no momento do plantio, pode optar tanto pelo inoculante turfoso quanto o líquido diretamente na semente ou aplicar o inoculante líquido nas entre linhas de plantio. Caso o plantio seja feito de forma manual é preferível o uso do inoculante turfoso pois possibilita a inoculação das sementes seja feita no dia anterior.

Importante destacar a adoção de técnicas de co-inoculação com bactérias dos gêneros *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* para elevar a produtividade da soja ou do feijão-caupi e as dos gêneros *Rhizobium* e *Azospirillum* para o feijão comum. Em geral a co-inoculação promove aumentos em torno de 15 a 20% de rendimento de grãos em relação ao tratamento inoculado com *Bradyrhizobium* e *Rhizobium*, evitando-se a necessidade da aplicação nitrogenada na maioria das condições de cultivo.

A fertilidade do solo favorece a fixação biológica de nitrogênio?

A fixação biológica de nitrogênio, embora para o produtor rural seja uma tecnologia de baixo custo, isto não é exatamente correto do ponto de vista da leguminosa. Para a leguminosa obter o nitrogênio da atmosfera precisa investir na formação do tecido nodular que garante à bactéria um ambiente com baixa concentração de oxigênio e, parte dos carboidratos que ela produz por meio da fotossíntese que será utilizada na redução do N atmosférico.

Por esse motivo, uma planta bem nutrida tende a ter maior eficiência no processo simbiótico com as bactérias fixadoras de nitrogênio. Já na planta que apresenta deficiência de nutrientes, os processos enzimáticos a fotossíntese e fixação do N atmosférico estarão limitados, o que poderá limitar o fornecimento dos carboidratos às bactérias, e assim, reduzir a eficiência do processo de fixação de nitrogênio.

Entretanto, nas plantas que recebem o N mineral prontamente disponível, a deficiência nutricional apresenta impacto reduzido uma vez que o gasto energético é menor pois não há formação de nódulos e nem é necessário carboidratos para a atividade da fixação biológico do N atmosférico. Por esse motivo, não é necessária a aplicação de fertilizantes nitrogenados na soja ou no feijão-caupi uma vez que pode haver inibição da fixação biológica do N atmosférico.

A fixação biológica do nitrogênio irá ocorrer em taxas elevadas para culturas com pouco estresse, com um manejo adequado da temperatura, da disponibilidade hídrica e de nutrientes no solo. A correção da acidez do solo com a calagem e adubação com macronutrientes como fósforo, potássio, cálcio,

magnésio e enxofre e micronutrientes como molibdênio, cobalto e ferro são de extrema importância para o sucesso da fixação biológica do nitrogênio.

Esses nutrientes além de contribuírem para o bom desenvolvimento da planta, também atuam diretamente na formação e manutenção dos nódulos, garantindo as condições ideais para que a planta associada às bactérias fixadoras de N possa expressar seu potencial máximo de produção.

Além da adubação nitrogenada a inoculação favorece o crescimento da planta de outras maneiras?

Na rizosfera, que é o ambiente em torno das raízes da planta no solo, ocorrem inúmeras interações entre as raízes das plantas e diversos tipos de organismos, com destaque para as bactérias e fungos, inclusive bactérias fixadoras do N atmosférico de vida livre de forma que em condições naturais, existe muita sinergia entre diferentes tipos de microrganismos e o sistema radicular das plantas. As plantas exsudam parte dos fotossintatos pelas raízes o que irá manter uma abundante comunidade microbiana na rizosfera. Esses microrganismos serão predados por protozoários e outros grupos da microfauna quando parte do N é liberado em um processo conhecido como microteia trófica.

Neste ambiente, o manejo da fixação biológica de nitrogênio com a inoculação de bactérias fixadoras de nitrogênio com outros grupos de bactérias que assumem diferentes funções, pode representar grandes benefícios ao desenvolvimento da cultura. Atualmente são inúmeros os exemplos de co-inoculação que podem trazer benefícios para as culturas leguminosas.

Existem bactérias que produzem substâncias promotoras de crescimento vegetal ou quelatos capazes de promover a solubilização de fósforo inorgânico, estimulando o crescimento das raízes. Tem sido cada vez mais estudados grupos microbianos que apresentam antagonismo a microrganismos patogênicos o que contribui para o controle de doenças edáficas. Uma planta com sistema radicular bem desenvolvido possui a capacidade de explorar maior área incrementando a aquisição de água e nutrientes do solo, aumentando assim seu poder competitivo.

Como obter o inoculante, como realizar o cálculo da recomendação e qual o custo?

A obtenção do inoculante pode ser feita através de redes de laboratórios credenciados pelo

MAPA. A quantidade do inoculante a ser utilizado deve seguir as instruções de cada fabricante, mas em geral, seguem os princípios a seguir.

Por exemplo, para realizar o cálculo para recomendação da inoculação para a cultura da soja, deve-se tomar como base a concentração do inoculante, a quantidade de sementes por quilograma e a população de bactérias desejada por semente. Os inoculantes rizobianos devem conter no mínimo 10^9 células g^{-1} ou mL^{-1} enquanto, os inoculantes de *Azospirillum* apresentam a concentração indicada pelo fabricante.

Considerando-se um lote de sementes cuja densidade seja 7.000 sementes kg^{-1} e que se deseje 1.200.000 células de bactérias por semente⁻¹, e que o inoculante possua $2,0 \times 10^9$ células g^{-1} ou mL^{-1} do produto, para cada saca de 60 kg de semente seriam necessários:

Número de células para cada kg de semente (N):

$$N = 1.200.000 \times 7.000 = 8,4 \times 10^9 \text{ células } kg^{-1} \text{ de semente}$$

Quantidade de inoculante para cada kg de semente (Q):

$$Q = 8,4 \times 10^9 / 2,0 \times 10^9 = 4,2 \text{ g}^{-1} \text{ ou } 4,2 \text{ mL}^{-1} \text{ de inoculante por } kg^{-1} \text{ de semente.}$$

Quantidade de inoculante para 1 ha ou 60 kg de sementes (Qh):

$$Qh = 4,2 \times 60 \text{ kg } ha^{-1} = 252 \text{ g ou mL de inoculante } ha^{-1}.$$

Se a inoculação for realizada no sulco, deve-se usar seis vezes a dose recomendada para a inoculação da semente (Qs):

$Qs = 252 \text{ ml de inoculante } ha^{-1} \times 6 = 1.512 \text{ ml de inoculante } ha^{-1}$ diluído em 50 L de água de boa qualidade.

Essa inoculação, poderia substituir a necessidade de até 300 $kg \text{ ha}^{-1}$ de N. Considerando-se uma concentração de N na ureia de 41%, implicaria na necessidade de aproximadamente 750 kg de ureia ha^{-1} . Ao custo atual, considerando uma relação média de preço de troca, seria necessárias cerca de 12 sacas de soja por tonelada de ureia, representaria aproximadamente 9 sacas de soja ha^{-1} .

É importante ressaltar que este custo corresponderia apenas a aquisição do fertilizante nitrogenado, sem acrescentar o transporte e aplicação, além de outros custos como a adubação com outros nutrientes, controle de pragas, doenças, ervas daninhas e colheita.

Como realizar a inoculação das sementes?

A inoculação deve ser realizada no período da manhã à sombra para manter as bactérias protegidas do sol e do calor excessivo.

Inoculante turfoso:

Deve dissolver 100 g de açúcar (cinco colheres de sopa) em 1 L de água.

Adicionar 360 mL da solução açucarada em 60 kg de sementes, em seguida adicionar o inoculante na proporção recomendada e misturar até que o inoculante esteja aderido às sementes de forma homogênea. A seguir, espalhar as sementes inoculadas sobre uma superfície seca e à sombra e deixar secar por pelo menos uma hora.

A semeadura deve ser realizada logo após a inoculação ou no máximo em dois dias após a aplicação nas sementes, desde que armazenadas à sombra e sem umidade.

Inoculante líquido:

Caso o inoculante líquido não seja comercializado com adesivos ou alguma substância aderente, o produto pode ser adicionado às sementes do mesmo modo do inoculante turfoso ou pode ser aplicado por aspersão na semente, no sulco de semeadura.

Para inoculantes com adesivos, seguir as recomendações do fabricante.

Conclusões

O estado de Rondônia apresenta uma logística favorável para a exportação de grãos, com destaque para a soja, com distribuição de silos graneleiros e uma logística de transporte rodoviária e hidroviária, integrada e que possibilita fácil acesso aos navios graneleiros para exportação.

Do ponto de vista dos insumos necessários, e principalmente para a demanda de fertilizantes nitrogenados, ainda depende da importação deste insumo com origem na região sul ou centro-oeste do país, encarecendo o custo de produção das leguminosas de grãos.

Neste cenário, a fixação biológica de nitrogênio representa um importante fator competitivo,

reduzindo os custos de produção, garantindo produtividades adequadas, e com grandes benefícios ambientais ao longo de toda cadeia de produção.

Referências Bibliográficas

ALCANTARA, R.M.C.M.; XAVIER, G.R.; RUMJANEK, N.G.; ROCHA, M.M.; CARVALHO, J.S. Eficiência simbiótica de progenitores de cultivares brasileiras de feijão-caupi. **Revista Ciência Agronômica**, Ceará, v.45, n.1, p.1-9, 2014.

ALMEIDA, A.L.G.; ALCANTARA, R.M.C.M.; NÓBREGA, R.S.A.; NÓBREGA, J.C.A.; LEITE, L.F.C.; SILVA, J.A.L. Produtividade do feijão-caupi cv. BR 17 Gurguéia inoculado com bactérias diazotróficas simbióticas no Piauí. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, n.3, p.364-369, 2010.

BARBOSA, J.Z.; HUNGRIA, M.; SENA, J.V.S.; POGGERE, G.; REIS, A.R.; CORRÊA, R.S. Meta-analysis reveals benefits of co-inoculation of soybean with *Azospirillum brasilense* and *Bradyrhizobium* spp. in Brazil. **Applied Soil Ecology**, v.163, p.1-10, 2021.

BRITO, L.F.; PACHECO, R.S.; SOUZA FILHO, B.F.; FERREIRA, E.P.B.; STRALIOTTO, R.; ARAÚJO, A.P. Resposta do feijoeiro comum à inoculação com rizóbio e suplementação com nitrogênio mineral em dois biomas brasileiros. **R. Bras. Ci. Solo**, v.39, p.981-992, 2015.

FACHINELLI, R.; CECCON, G. Coinoculação com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* na soja em sucessão ao milho-safrinha em solo arenoso e argiloso. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.9, n.2, p.99-108, 2020.

GALINDO, F.S.; SILVA, E.C.; PAGLIARI, P.H.; FERNANDES, G.C.; RODRIGUES, W.L.; BIAGINI, A.L.C.; BARATELLA, E.B.; SILVA JÚNIOR, C.A.; MORETTI NETO, M.J.; SILVA, V.M.; MURAOKA, T.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M. Nitrogen recovery from fertilizer and use efficiency response to *Bradyrhizobium* sp. and *Azospirillum brasilense* combined with N rates in cowpea-wheat crop sequence. **Applied Soil Ecology**, v.157, p.1-13, 2021.

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. (Embrapa Soja. Documentos, 283).

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Co-inoculation of soybeans and common

beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. **Biology and Fertility of Soils**, v. 49, n. 7, p. 791-801, 2013.

HUNGRIA, M.; MENDES I. C. Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis? In: de Bruijn FJ, ed. **Biological Nitrogen Fixation**. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc. p.1009-1024, 2015.

ROSA NETO, C.; SILVA, F. A. C.; ARAÚJO, L. V, de **Informativo Agropecuário de Rondônia**. no. 5, junho, 2021. Porto Velho, Embrapa Rondônia, 2021. 29p.

ZILLI, J.E.; MARSON, L.C.; MARSON, B.F.; RUMJANEK, N.G.; XAVIER, G.R. Contribuição de estirpes de rizóbio para o desenvolvimento e produtividade de grãos de feijão-caupi em Roraima. **Acta Amazonica**, v.39, n.4, p.749-758, 2009.