



UNA Bom Despacho
Bacharelado em Agronomia

ALEX FRANCISCO DE SOUSA
GABRIEL AUGUSTO CORDEIRO ALVES DE LIMA

FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO (FBN) NA CULTURA DA SOJA

Bom Despacho – MG.
2023

ALEX FRANCISCO DE SOUSA
GABRIEL AUGUSTO CORDEIRO ALVES DE LIMA

**FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO (FBN) NA CULTURA
DA SOJA**

Artigo científico apresentado no curso de graduação em Engenharia Agrônoma do Centro Universitário UNA, como um dos pré-requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônoma.

Orientador: Prof. MSc. Carlos Allan Pereira dos Santos

Bom Despacho – MG.
2023

ALEX FRANCISCO DE SOUSA
GABRIEL AUGUSTO CORDEIRO ALVES DE LIMA

**FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO (FBN) NA CULTURA DA
SOJA**

Artigo apresentado como exigência parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Agrônômica à Comissão Julgadora designada pela Coordenação de Trabalhos de Conclusão de curso do Centro Universitário UNA.

Bom Despacho, 22 de junho de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Gesiane Ribeiro Guimaraes
Una

Prof^a. Dr^a. Mariana Aguiar Silva
Una

Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) na Cultura da Soja

RESUMO

A globalização tem influenciado significativamente a economia mundial. Na agricultura, a eficiência na produção está atrelada ao aumento da produtividade ou à redução dos custos na produção. No Brasil, o cultivo da soja seria inviabilizado economicamente, caso fosse aplicado, via fertilizantes, o nitrogênio necessário para suprir todas as demandas da planta. As plantas absorvem com maior rapidez os fertilizantes nitrogenados, no entanto, são de custo elevado, o que inviabiliza o uso. Além disso, o uso indiscriminado deste tipo de produto resulta em poluição ambiental que, ao se espalhar pela superfície terrestre, entra em contato com as águas dos córregos, rios, chegando a atingir os lençóis subterrâneos, sendo tóxicos a animais e ao homem. Diante disso foi viabilizada a Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) que consiste na transformação do nitrogênio existente no ar atmosférico em formas assimiláveis para plantas e animais. Diante do exposto, o objetivo deste estudo é discutir as contribuições da FBN no solo para a produção da soja, considerando a relevância da produção agrícola lucrativa e sustentável.

Palavras-chave: *Glycine max*. *Bradyrhizobium Azospirillum*. Produtividade. Sustentabilidade.

1 INTRODUÇÃO

A globalização tem influenciado significativamente a economia mundial. A competição entre os setores produtivos caminha cada dia mais diversificada e intensa. Na agricultura, a eficiência na produção está atrelada ao aumento da produtividade ou à redução dos custos na produção.

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), a soja era uma planta rasteira que se desenvolvia, principalmente ao longo do rio Yangtse, na China ou ainda na costa leste da Ásia. Seu cultivo se deu a partir da domesticação e melhoramento por cientistas da antiga China, de plantas oriundas de cruzamentos naturais entre duas espécies de soja selvagem (EMBRAPA, 2023). Em meados de 2883 e 2838 AC, a soja era considerada um grão sagrado, ao lado do arroz, cevada e outros. Sua produção ultrapassou as fronteiras da China em meados de 1894 (MEDEIROS, 2003, p.3). Na segunda década do século XX, ela começou a despertar o interesse das indústrias mundiais, em virtude do seu teor de óleo e proteína (SILVA, 2019, p.14).

Pastore (2014) afirma que o cultivo da soja no Brasil teve início em 1882 no estado da Bahia. Expandindo-se para a região Sudeste do país logo em seguida,

hoje está sendo impulsionado indiretamente pelo aumento no consumo de carnes, visto que o grão faz parte da alimentação das aves, suínos e bovinos.

A adaptação do grão ao clima tropical do Brasil foi viabilizada por meio de investimentos em pesquisas, o que permitiu que, pela primeira vez, ele fosse plantado com sucesso, em regiões com as características brasileiras. Esse avanço da ciência brasileira ocasionou uma revolução mundial na história de produção da soja, a partir do fim da década de 80, quando os preços do grão começaram a cair em virtude da expansão de sua produção (HUNGRIA, 2007).

Atualmente, os maiores produtores mundiais de soja são Brasil, Estados Unidos e Argentina, seguidos da China e Índia. (TERRA MAGNA, 2023).

De acordo com Alves; Aguila (2020) no Brasil, o cultivo da soja seria inviabilizado economicamente, caso fosse aplicado todo o nitrogênio necessário para suprir todas as demandas da planta (HUNGRIA, 2007). Muitas pesquisas têm sido desenvolvidas com o objetivo de maximizar o processo de fixação biológica de nitrogênio no cultivo da soja que, beneficiada pela tecnologia, preserva a qualidade do solo e das águas do terreno, aumentando a produtividade, sem aumentar de forma significativa os custos do cultivo.

Sabe-se que, aproximadamente 80% do ar é composto por nitrogênio, mesmo sendo o mais abundante dos elementos do ar atmosférico, os seres vivos, incluindo as plantas não são capazes de retirá-lo diretamente do ar, pois não conseguem fazer seu metabolismo na forma gasosa. “O nitrogênio é o elemento mineral que a soja requer em maior quantidade, mas, apesar disso, não se recomenda adubação com nitrogênio, pois esse é suprido através da simbiose com bactérias” (MEDEIROS, 2003, p.7).

Diante disso foi viabilizada a Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) que consiste na transformação do nitrogênio existente no ar atmosférico em formas assimiláveis para plantas e animais. A transformação é “realizada por bactérias fixadoras de nitrogênio e algumas algas azuis (cianobactérias) presentes no solo úmido, sendo a enzima universal conhecida como nitrogenase”. O nitrogênio é retirado e transformado em amônia solúvel em água, utilizado pela planta, quando ocorre o processo de FBN (EMBRAPA, 2023).

O reservatório de nitrogênio presente na matéria orgânica do solo é limitado, podendo se esgotar após alguns cultivos.

A matéria orgânica contém cerca de 5% de nitrogênio total, assim ela serve como uma reserva de nitrogênio. Mas o nitrogênio na matéria orgânica está na forma de compostos orgânicos não imediatamente disponíveis para o uso pelas plantas, uma vez que a decomposição normalmente ocorre de forma lenta. Apesar de um solo poder conter muita matéria orgânica, os adubos nitrogenados são necessários para assegurar às culturas uma fonte adequada de nitrogênio prontamente disponível, especialmente aquelas culturas que necessita de altos níveis desse nutriente (LOPES, 1998, p.13).

Há que se considerar ainda que, no território brasileiro, as condições de temperatura e umidade predominantes aceleram os processos de decomposição da matéria orgânica e da perda de nitrogênio.

A maioria dos solos encontrados no Brasil apresenta, sob condições naturais, teores médios e altos de matéria orgânica. Na região do cerrado, por exemplo, a seca prolongada (cerca de seis meses) o pH ácido e a baixa disponibilidade de nutrientes reduzem a taxa de mineralização da matéria orgânica, permitindo uma acumulação relativa na camada superficial do solo. Entretanto sobre manejo inadequado e cultivo intensivo, notadamente nos solos arenosos, esta matéria orgânica pode ser reduzida a níveis baixíssimos em poucos anos (LOPES, 1998, p.13).

O uso indiscriminado de fertilizantes nitrogenados resulta em poluição ambiental que, ao se espalhar pela superfície terrestre entra em contato com as águas dos córregos, rios, chegando a atingir os lençóis subterrâneos, o que pode ser tóxico a animais e ao homem (FREIRE, 2016).

Muitas pesquisas mostram que bactérias se associam a diversas plantas de formas específicas e peculiares a cada espécie, o que pode classificá-las em bactérias associativas, endofíticas ou simbióticas. As bactérias do gênero *Bradyrhizobium* se associam ao sistema radicular da soja e estabelecem uma simbiose, fornecendo todo o nitrogênio que a planta necessita (HUNGRIA, CAMPO, MENDES, 2007).

Para tanto, este estudo foi desenvolvido considerando a vasta produção de soja no Brasil e sua contribuição para a expansão econômica do país. A primeira seção é composta pela introdução, seguida pelo referencial teórico que traz uma breve pesquisa sobre a importância do nitrogênio para as plantas e as contribuições da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) para a produção da soja. A terceira seção descreve a metodologia composta pela pesquisa bibliográfica. A seção, destina aos resultados e discussões, discorre sobre a importância da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) para a produção sustentável e lucrativa no Brasil. Posteriormente,

é destinada uma seção às considerações finais, seguida das referências bibliográficas que embasam este estudo.

O objetivo deste estudo é discutir as contribuições da FBN no solo para a produção da soja.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Nitrogênio (N): Qual a sua importância para as plantas?

A saúde das plantas depende do fornecimento de nutrientes como o nitrogênio, o potássio e o fósforo. Eles são indispensáveis, pois constituem as moléculas orgânicas e participam do metabolismo na função de catalizadores, diminuindo o gasto de energia (EMBRAPA, 2023).

O nitrogênio (N) é o nutriente requerido em maior quantidade pelas plantas e, com maior frequência, sua baixa disponibilidade é fator limitante à produção agrícola. Isso decorre de seu papel desde a base da vida, na composição dos ácidos nucleicos (DNA e RNA), aminoácidos e proteínas, além de várias moléculas essenciais à vida, como a clorofila (HUNGRIA; NOGUEIRA, 2022, p.141)

O nitrogênio (N) é um nutriente muito importante para as plantas. Ele viabiliza a alta produtividade e qualidade nos cultivos. O nitrogênio pode ser fornecido na forma mineral (ureia, nitrato de amônia e sulfato de amônia) ou orgânica (cama de aves e dejetos suínos) e destaca-se entre os nutrientes indispensáveis às plantas (CARVALHO, 2022). Ele deve ser fornecido na quantidade certa para que a plantas possam absorver e assimilá-lo para seu desenvolvimento.

Figueira (2013) descreve as principais entradas e saídas de nitrogênio nos sistemas terrestres como:

Entradas:

- I - Processo de fixação biológica de nitrogênio;
- II - Decomposição úmida e seca.

Saídas:

- I - Volatilização de nitrogênio que ocorre no solo e nas folhas das plantas;
- II - Denitrificação de nitrogênio no solo;
- III - Perdas por escoamento superficial;
- IV - Percolação profunda.

No que diz respeito aos impactos ambientais mais comuns de sua aplicação, estão a emissão de gases de efeito estufa, como o óxido nitroso, bem como, a contaminação de lençóis freáticos por lixiviação de nitrato.

Vários fatores influenciam a disponibilidade do nitrogênio no solo: umidade; condições climáticas; lixiviação; profundidade; teor de matéria orgânica; atividade microbiana (CARVALHO, 2022).

2.1.2 A Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)

A FBN é definida como um processo biológico mediado por bactérias que possuem um complexo enzimático denominado nitrogenase, onde ocorre a transformação do nitrogênio do ar (N^2) em estruturas assimiláveis por outros organismos, especialmente os vegetais. (BRASIL, 2023a)

Segundo escreve Hungria; Nogueira (2022), antes que qualquer vegetal habitasse a terra houve a evolução de uma bactéria que passou a sintetizar uma enzima denominada nitrogenase, que ainda nos dias atuais é capaz de transformar o Nitrogênio (N^2) em Amônia (NH^3), processo denominado como Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN).

A Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) é uma tecnologia utilizada para aumentar a produtividade agropecuária e minimizar a emissão dos Gases de Efeito Estufa (GEE), contribuindo para atenuar os efeitos das mudanças climáticas. A técnica foi iniciada no país nos anos 1950 com os trabalhos pioneiros dos agrônomos Johanna Döbereiner (1924-2000) e Ruy Jardim Freire (1923-2015) (JONES, 2019).

Johanna Döbereiner, que integrava o quadro de cientistas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), enfrentou resistências à FBN, em virtude do enraizado e massivo emprego de adubos nitrogenados no cultivo da soja (DÖBEREINER, 2023).

Na década seguinte, os inoculantes produzidos à base de bactérias capazes de absorver o nitrogênio do ar e transferi-lo para as raízes da planta, começaram a serem usados em larga escala no Brasil, reduzindo a dependência de fertilizantes químicos nitrogenados (JONES, 2019).

Os fertilizantes nitrogenados começaram a serem utilizados no Brasil em meados de 1843, sendo considerados na época um grande avanço para a agricultura, pois viabilizaram a capacidade produtiva das lavouras e favoreceram a preservação

de florestas, evitando seu desmatamento para o cultivo da agricultura com o objetivo de atender as demandas de abastecimento das cidades (EMBRAPA, 2023).

No entanto, quando aplicado no solo, o fertilizante nitrogenado pode sofrer o fenômeno de lixiviação, atingindo e contaminando a água que compõem os corpos hídricos. A alta concentração da substância pode prejudicar o desenvolvimento ou causar a morte do ecossistema aquático (EMBRAPA, 2023).

Apesar da FBN não alterar diretamente os teores de nitrato no solo, constitui uma forma adicional de nitrogênio às plantas, o que pode levar ao menor aproveitamento do nitrato por outras fontes e favorecer sua lixiviação (RESENDE, 2002).

A Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) foi incluída, como processo tecnológico, no Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas com o objetivo de alcançar uma agricultura com baixa emissão de carbono. Esse compromisso internacional foi assumido pelo Brasil em 2009 na Conferência de Copenhague, na Dinamarca, sendo objetivada uma redução, entre 36,1 e 38,9%, de Gases de Efeito Estufa na área atmosférica brasileira.

A FBN surgiu a partir de pesquisas com espécies adaptadas às condições de climas tropicais. Considerando os custos e os impactos ambientais, ela constitui uma alternativa mais sustentável para a substituição do nitrogênio. A FBN pode ser considerada um processo natural de interação entre a planta e uma bactéria, a técnica incorpora o nitrogênio disponível no ar ao mecanismo de nutrição das plantas (EMBRAPA, 2023).

A FBN torna-se extremamente importante para a vida na natureza, sem a qual poderia ser extinta em algumas décadas, pois apesar do nitrogênio representar 78% da composição atmosférica, pois sua disponibilidade aos seres vivos é um dos fatores mais limitantes no planeta (BRASIL, 2023a). “Diante da complexidade acerca do manejo da adubação nitrogenada e de seu impacto econômico e ambiental, a FBN é vista como uma ferramenta importante para uma produção vegetal mais sustentável “(HUNGRIA, 2011, p. 17).

A FBN já vem sendo explorada há séculos, no entanto, seu domínio pelo homem se deu a poucas décadas e hoje ela se encontra disponível, comercialmente, para muitas culturas, em especial na cultura da soja (EMBRAPA, 2023).

Jones (2019) afirma que em virtude de novas tecnologias de aplicação de microrganismos, a simbiose com a soja chega a dispensar totalmente o uso de fertili-

zante nitrogenado. Segundo o autor, a competitividade da soja cultivada no Brasil se deve ao uso de inoculantes eficientes.

O autor afirma que, a partir da década de 2000, uma nova classe de microrganismos, formada por bactérias promotoras do crescimento de plantas, passou a ser fornecida como inoculante pela Embrapa Soja. A mais utilizada é a bactéria *Azospirillum* brasilense, que também é capaz de realizar a fixação biológica de nitrogênio, embora não no mesmo nível de *Bradyrhizobium*. O principal mecanismo de promoção do crescimento das plantas de *Azospirillum* consiste em produzir fito-hormônios (JONES, 2019).

O autor explica que a cultura com a FBN favorece o crescimento de raízes nas plantas, possibilitando que ela absorva mais águas e nutrientes do solo.

A FBN produz diferentes efeitos em plantas leguminosas como a soja e o feijão e nas plantas gramíneas como o arroz e o milho. Nas leguminosas, são formados os nódulos, estruturas radiculares nos quais se dá a FBN (EMBRAPA, 2023). Nas gramíneas, a FBN é realizada por bactérias que vivem próximas às raízes ou no interior dos tecidos da planta. Essas particularidades influenciam na eficiência do processo (EMBRAPA, 2023). Para as leguminosas a FBN consegue suprir todo o nitrogênio necessário ao desenvolvimento da planta, já nas gramíneas as contribuições são menores, embora ainda viáveis do ponto de vista econômico e sustentável (BRASIL, 2023a).

Como benefícios da FBN podem ser citados a economia em nitrogênio mineral; redução no custo de produção e na emissão de Gases de Efeito Estufa que contribuem para o aquecimento global (BRASIL, 2023a).

As evoluções seguem na agricultura e no ano de 2014 a Embrapa lançou a tecnologia da coinoculação, que consiste na utilização dos dois tipos de bactéria aplicadas simultaneamente antes da semeadura. Na utilização dos dois microrganismos, o rendimento na produção da soja pode chegar a 16%, de acordo com a Embrapa (JONES, 2019).

De acordo com a Embrapa (2023), a coinoculação é uma tecnologia em sintonia com a abordagem atual da agricultura, que respeita as demandas de altos rendimentos, mas com sustentabilidade agrícola, econômica, social e ambiental. Consiste em adicionar mais de um microrganismo reconhecidamente benéfico às plantas, visando maximizar a contribuição dos mesmos. Combina uma prática já bem conhecida dos produtores: a inoculação das sementes de soja e do feijoeiro com bactérias

fixadoras de nitrogênio (N), conhecidas como rizóbios, com o uso do *Azospirillum*, uma bactéria até então conhecida por sua ação promotora de crescimento em gramineas (BRASIL, 2023b).

De acordo com a Embrapa (2023), dentre os benéficos propiciados pela co-inoculação está o aumento da área radicular, possibilitando um maior aproveitamento dos fertilizantes e favorecendo a planta em situações de estresse hídrico. Há que se considerar ainda a maior capacidade de absorção de nutrientes e água pelas raízes, propiciadas pela técnica. As plantas se apresentam mais vigorosas pelo maior equilíbrio nutricional, em virtude do melhor aproveitamento dos nutrientes propiciados pelo solo e fertilizantes. Está comprovado também que o uso da *Azospirillum* também resulta em maior nodulação, melhora nas raízes como número de ramificações, comprimento e densidade, incidência e comprimento dos pelos, o que implica em maior absorção de água e nutrientes e, conseqüentemente, maior contribuição da FBN (BRASIL, 2023b).

Hungria; Nogueira (2022) relacionaram as principais vantagens e desvantagens da utilização de fertilizantes nitrogenados e do processo de Fixação biológica do Nitrogênio (FBN) no cultivo de leguminosas, incluindo a soja (quadro 1).

Quadro 1: Principais vantagens e desvantagens da utilização de fertilizantes nitrogenados e do processo de fixação biológica do (FBN) em leguminosas.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Fertilizantes Nitrogenados	
1. Disponibilidade imediata para as plantas;	1. Gasto energético elevado para a sua síntese, transporte e utilização;
2. Crescimento inicial mais rápido das plantas;	2. Em condições tropicais, em geral no máximo 50% do fertilizante nitrogenado aplicado é aproveitado pelas plantas;
3. Plantas inicialmente mais verdes;	3. Perdido facilmente por desnitrificação, volatilização, lixiviação;
4. Em geral o custo energético para a sua absorção pelas plantas é inferior ao custo da FBN.	4. Poluição de águas;
	5. Emissão de gases de efeito estufa.
Fixação biológica do Nitrogênio (FBN)	
1. Menor custo para o agricultor;	1. Plantas dependentes da FBN podem ter crescimento inicial mais lento, pois há necessidade de formação e início de atividade dos nódulos;
2. Melhor aproveitamento do N pelas plantas, translocação mais eficiente do N para os grãos;	2. As exigências nutricionais das plantas dependentes da fixação do N ² são mais elevadas, pois precisam atender às suas necessidades, das bactérias e da simbiose;
3. Menores impactos ambientais;	3. Plantas dependentes da fixação do N ² são mais sensíveis a estresses abióticos;
4. Melhoria e manutenção da fertilidade do solo.	4. Estirpes de bactérias fixadoras e genótipos de plantas diferem em sua efetividade e o processo de seleção e melhoramento de ambos parceiros precisa ser contínuo.

Fonte: Hungria; Nogueira (2022).

Jones (2019) acrescenta que o uso crescente de inoculantes tem elevado a produtividade, mas também tem imposto desafios. Dentre eles está a compatibilização do emprego conjunto das bactérias com os agrotóxicos aplicados às sementes, muitas vezes, os pesticidas aniquilam os microrganismos benéficos às plantas. Há ainda a produção caseira de inoculantes, que podem conter outros compostos que não as bactérias indicadas, produzidos de forma inadequada podem causar doenças em plantas, animais e seres humanos.

3 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho está embasada na pesquisa bibliográfica, com o objetivo de reunir informações que servirão como base para a construção da investigação proposta. Um levantamento bibliográfico será realizado a partir da análise de fontes como: livros, artigos, textos disponíveis em sites, entre outros locais onde possa ser encontrado um conteúdo relevante à discussão do tema proposto.

[...] elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de: livros, revistas, publicações em periódicos e artigos científicos, jornais, boletins, monografias, dissertações, teses, material cartográfico, internet, com o objetivo de colocar o pesquisador em contato direto com todo material já escrito sobre o assunto da pesquisa. Na pesquisa bibliográfica, é importante que o pesquisador verifique a veracidade dos dados obtidos, observando as possíveis incoerências ou contradições que as obras possam apresentar (PRODANOV; FREITAS, 2013, p. 54).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN): Produtividade e Sustentabilidade

O Brasil tem ganhado destaque no mercado mundial da soja, Figueira (2013), p.14, destaca que

a Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) por bactérias associadas à soja tem sido a grande responsável pelo destaque mundial do Brasil na produção e exportação da soja. A tecnologia utilizada pelos produtores, em grande escala, consiste na utilização para o plantio, de sementes inoculadas com estas bactérias e esta prática tem gerado uma economia de 20% a 25% no processo devido, principalmente, à redução dos custos referente a fertilizantes nitrogenados, o que torna a soja brasileira extremamente competitiva no mercado mundial.

A Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) trouxe desenvolvimento para as lavouras brasileiras. Segundo a Associação Nacional de Produtores e Importadores de Inoculantes (ANPII), atualmente cerca de 80% das lavouras de soja no país são tratadas com o auxílio da técnica.

A viabilidade econômica da cultura da soja está estreitamente relacionada ao processo de fixação biológica do nitrogênio. Isso porque, para cada 1.000 kg de grãos de soja, são necessários cerca de 80 kg de N/ha (65 kg alocados nas sementes e 15 kg de N nas folhas, caule e raízes). Considerando-se o rendimento médio nacional de 2.700 kg/ha, a área total cultivada de 24,7 milhões de hectares, a quantidade de N fornecida pelos solos brasileiros — em geral, somente 10 a 30 kg de N/ha/ano — a eficiência de utilização dos fertilizantes nitrogenados (em geral no máximo de 50%) e o seu preço atual, tem-se, nos valores atuais, que o processo biológico resulta em uma economia aproximada de US\$ 7 bilhões por safra de soja. Conforme já comentado, além desse benefício direto, deve-se adicionar a economia pelo nitrogênio residual deixado para a cultura seguinte (HUNGRIA; CAMPO; NOGUEIRA, 2012, p. 57).

De acordo com os autores abaixo citados,

A fixação biológica do nitrogênio (FBN) é um dos pilares de sustentabilidade do sistema de produção de soja no Brasil e resulta em grandes benefícios para o produtor e para o meio ambiente, por dispensar o uso de fertilizantes nitrogenados na cultura, aumentando a competitividade do produto no mercado externo com menor impacto ambiental (PRANDO; OLIVEIRA; LIMA; POSSMAI; REIS; NOGUEIRA; HUNGRIA; CONTE, 2020, p. 2).

A FBN objetiva disponibilizar biologicamente o nitrogênio atmosférico (N²) para as plantas, diminuindo ou eliminando completamente o uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos.

O desenvolvimento de novas biotecnologias é garantido pelo estudo da vida do solo que oferece alternativas para a substituição de sistemas agrícolas tradicionais baseados uso de fertilizantes químicos e agrotóxicos cada vez mais crescente (DÖBEREINER, 2006).

Devido ao alto custo dos fertilizantes nitrogenados (70% dos custos dos fertilizantes), a fixação biológica de nitrogênio que permite o uso, pelas plantas, do N² molecular da atmosfera, é o processo mais estudado na biologia do solo, e os desenvolvimentos da biotecnologia moderna em muito contribuíram para os progressos recentes neste campo (DÖBEREINER, 2006).

A autora afirma ainda que as áreas tropicais estão sujeitas à erosão e, portanto, menos apropriadas, para agriculturas baseados em uso intensivo de fertilizantes. Elas oferecem umidade e temperaturas ótimas durante todo o ano para a atividade microbiológica (DÖBEREINER, 2006).

Estudos recentes revelam que há rizóbios “bactérias do bem” que moram no solo. Ela é atraída pela soja e se estabelece nas primeiras raízes crescidas nas plantas formando pequenos nódulos.

A inoculação com estas estirpes de rizóbios, em solos onde não foi plantada soja anteriormente com outros inoculantes, pode proporcionar aumentos de produção de grãos na ordem de 40%. Estas estirpes, entretanto, são pouco competitivas e ainda não foi possível estabelecê-las em campos de cerrado onde já foi plantada soja inoculada anteriormente (DÖBEREINER, 2006).

Hungria (2011) ressalta que

A maior contribuição do processo de Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN) ocorre pela associação simbiótica de plantas da família Leguminosae com bactérias pertencentes a diversos gêneros e que são denominadas, de modo popular e coletivo, como rizóbios. A simbiose com essas bactérias pode ser facilmente identificada, pois estruturas altamente especializadas, chamadas nódulos, são formadas nas raízes das leguminosas, especificamente para o processo de fixação biológica (HUNGRIA, 2011, p. 15).

A tabela abaixo apresenta a produção e movimentação da soja no Brasil no mês de maio/2023.

Tabela 1: Quadro de oferta e demanda da soja no Brasil

BALANÇO DE OFERTA E DEMANDA – COMPLEXO SOJA (Em 1 000 toneladas)			
PRODUTO	SAFRA		
SOJA EM GRÃO	2020/2021	2021/2022	2022/2023
Enfoque inicial	4 221	8 851	3 134
Produção	139 385	125 550	154 811
Importação	864	419	500
Sementes/ Outros	3 575	3 561	3 921
Exportação	86 110	78 730	95 072
Processamento	45 934	49 396	51 903
Estoque	8 851	3 134	7 548

Fonte: CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento).

A tabela mostra que a produção de soja no Brasil se mostra autossuficiente sendo direcionada em grande escala para a exportação.

Os pesquisadores da Embrapa, Mendes, Hungria, Mercante, Bueno (2010) afirmam que a FBN é considerada, o mais importante processo biológico do planeta, depois da fotossíntese, sendo, portanto, fundamental para a manutenção da vida na Terra.

A FBN é o processo através do qual o nitrogênio presente na atmosfera é convertido em formas que podem ser utilizadas pelas plantas. A reação é catalisada pela enzima nitrogenase que é encontrada em todas as bactérias fixadoras. Em termos de agricultura a simbiose entre bactérias fixadoras de nitrogênio (denominadas rizóbios e bradirizóbios) e plantas

leguminosas (família a qual pertence a soja, o feijão e a ervilha) é a mais importante. Após a formação de nódulos nas raízes dessas plantas, a bactéria passa a fixar o nitrogênio atmosférico em compostos orgânicos que são utilizados pela planta, diminuindo uso de adubos nitrogenados (MENDES, HUNGRIA, MERCANTE, BUENO, 2010).

No Brasil a FBN supre totalmente a necessidade do uso de adubos nitrogenados nas lavouras de soja. Caso fosse necessário a adubação nitrogenada a produção da soja se tornaria muito mais cara e inviável no país (EMBRAPA, 2023).

Um desses processos é a lixiviação, que é lavagem do perfil do solo por percolação ou escoamento superficial da água de chuva ou irrigação e que pode resultar no acúmulo de formas nitrogenadas, particularmente nitrato (NO^{-3}), nas águas de rios, lagos e aquíferos subterrâneos, atingindo níveis tóxicos aos peixes e ao homem. (...) Outro processo que também acarreta perda do N aplicado ao solo é a desnitrificação, ou seja, a transformação do NO^3 proveniente do fertilizante, em formas gasosas, como NO (óxido nitroso) e N^2O (óxido nítrico), que contribuem para a degradação da camada de ozônio agravando o famoso efeito estufa tão relacionado às mudanças climáticas globais (MENDES, HUNGRIA, MERCANTE, BUENO, 2010).

Essa poluição pode causar diversas doenças. A proliferação dessa fórmula no ambiente está associada ao desenvolvimento do câncer e problemas respiratórios, em virtude do consumo de águas contaminadas.

Hungria; Campo; Nogueira (2012) ressaltam que os ganhos ambientais advindos do uso desses microrganismos são consideráveis pois

a menor utilização de fertilizantes nitrogenados traz grandes benefícios ambientais, com menor poluição de rios, lagos, lençóis freáticos, particularmente pela lixiviação do nitrato, bem como menos emissão de gases com efeito estufa, como o N^2O . Além disso, a síntese de fertilizantes nitrogenados é baseada em carbono fóssil, que resulta em emissão de CO^2 . As estimativas sobre a contribuição dos microrganismos nesse panorama ainda não são precisas, mas certamente são da ordem de vários outros milhões de dólares (HUNGRIA; CAMPO; NOGUEIRA, 2012, p. 58).

O uso de fertilizantes de forma indiscriminada pode afetar o meio ambiente de forma permanente, comprometendo o bem-estar dos seres vivos que nele habitam. Há ainda, que se considerar, a degradação do solo que pode vir a ocorrer, em virtude do uso de fertilizantes nitrogenados.

4.1.2 Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN): Uma simbiose perfeita?

As significativas mudanças no jeito de olhar e analisar o solo e ainda de compreender a interação entre as plantas e ele tornaram a produção mais complexa e dinâmica favorecendo o aumento e a eficiência da produtividade. As altas taxas de produtividade dependem de solos em boas condições químicas, estruturais e biológicas.

A demanda elevada do nitrogênio para o desenvolvimento da planta no cultivo da soja, exige eficiência da simbiose com bactérias diazotróficas, capazes de suprir as necessidades da planta durante as diferentes fases de seu desenvolvimento, visando a elevação dos níveis de produtividade.

Nesse sentido, o aumento da capacidade produtiva e conseqüentemente, o aumento da produção no Brasil e no mundo estão associados aos avanços tecnológicos e científicos disponibilizados ao setor.

A FBN tem oferecido oportunidades de aumento na produção e aguçado a competitividade, promovendo nesse sentido a independência da cultura da sola de fertilizantes nitrogenados. Dentre as estratégias levantadas estão a utilização de doses em dobro em áreas de primeiro cultivo, inoculações anuais em áreas com tradição no cultivo de soja, dispensa de aplicação de fungicidas e outros micronutrientes, a fim de evitar possíveis efeitos de toxicidade das bactérias na FBN, evitar a adição de fertilizantes nitrogenados, pois não contribuem para o aumento da produtividade da planta, independente do estágio em que seja aplicado, prejudicando a nodulação e comprometendo o processo de FBN (MERCANTE, OTSUBO, 2016). Sendo assim, não é recomendado o processo de adubação nitrogenada no cultivo de soja no Brasil (MERCANTE, OTSUBO, 2016).

Diante do exposto sugere-se a utilização de sistemas de manejo, como o plantio direto, com o objetivo de reduzir os estresses causados pela temperatura e umidade do solo, favorecendo a sobrevivência dos rizóbios na semente e no solo, viabilizando e potencializando a nodulação e a FBN. (MERCANTE, OTSUBO, 2016).

A Fixação biológica do Nitrogênio em sistemas agrícolas, apesar de apresentar vantagens nos aspectos econômicos e ecológicos pelo fato de reduzir a utilização de fertilizantes nitrogenados, pode afetar a dinâmica do ciclo de nitrogênio na região. Essa interferência pode se dar através da entrada exógena de nitrogênio reativo, podendo intensificar os processos de mineralização e nitrificação, promovendo assim uma maior disponibilização de nitrogênio no solo, o que por sua vez, potencializaria a emissão de gases nitrogenados ou a perda de nitrogênio através da lixiviação. No caso da soja, isso pode se agravar, pois nestes cultivos a demanda por nitrogênio é um processo pontual que se dá em apenas alguns meses do ano, permanecendo o solo sem cultivo por uma parcela significativa do ano, o que potencializaria as perdas por lixiviação (FIGUEIRA, 2013, p.17).

Sendo assim, cabem discussões sobre as conseqüências dessa prática à longo prazo, a fim de compreender melhor o nitrogênio armazenado na região. Torna-

se necessário a verificação do destino desse nitrogênio e de como ele interfere na mudança do solo ao longo dos anos de cultivo de soja.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da crescente demanda populacional, torna-se necessário o aumento na produção, viabilizado pelo aumento na produtividade e na redução de seus custos.

No caso da produção da soja ao substituir o uso de adubos nitrogenados, a Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN) possibilita o aumento da produção, a redução dos custos e ainda mantém a qualidade do solo por evitar a disseminação de nitrogenados, causada pelo uso de adubos à base do nitrogênio.

Hoje, no Brasil, a maioria dos produtores, praticam a FBN por meio da utilização de inoculantes que fornecem a bactéria para a conversão do nitrogênio a formas assimiláveis pelas plantas. Essa marcha por produtividade, cada vez maior, tem impulsionado os produtores de inoculantes a capacitaram-se para entregar ao agricultor o insumo biológico com elevados padrões de qualidade.

Diante do exposto, verifica-se que os benefícios da FBN ultrapassam as demandas de produção e suprimento do mercado. Trata-se de um processo que viabiliza o desenvolvimento sustentável, o que tem se tornado cada dia mais urgente para a sobrevivência do planeta Terra.

No entanto, pra que o sucesso da FBN permaneça em expansão na produção da soja brasileira, estresses ambientais como temperaturas elevadas e baixa umidade do solo precisam ser reconhecidos como limitações à FBN no Brasil, o que pode ser compreendido por meio de novos estudos e pesquisas.

REFERÊNCIAS

ALVES, A. C. de O.; AGUILA; L. S. H. **A IMPORTÂNCIA DA FIXAÇÃO BIOLÓGICA PARA A CULTURA DA SOJA**. XXIX Congresso de Iniciação Científica. ° Semana Integrada Universidade Federal de Pelotas (UFPel) 2020. Disponível em: https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2020/CA_01038.pdf. Acesso em: 04 jul. 2023.

BRASIL. Programa ABC. Ministério da Agricultura, Agropecuária e Abastecimento. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/fixacao-biologica-do-nitrogenio.pdf>. Acesso 24 mai. 2023a.

BRASIL. EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Coinoculação nas culturas de soja e feijoeiro**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/2648/coinoculacao-nas-culturas-da-soja-e-feijoeiro#:~:text=Consiste%20em%20adicionar%20mais%20de,maximizar%20a%20contribui%C3%A7%C3%A3o%20dos%20mesmos>. Acesso em 25 mai. 2023b.

CARVALHO, I. R. **A Importância do Nitrogênio para as Plantas**. Disponível em: <https://elevagro.com/conteudos/materiais-tecnicos/importancia-do-nitrogenio-para-as-plantas>. Acesso em 04 jun. 2023.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). **Quadro de oferta e demanda da soja no Brasil**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/oferta-e-demanda-de-graos>. Acesso em 01 jun. 2023.

DÖBEREINER, J. **PESQUISA EMBRAPA**. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/xWNT7xBGQmpczqtqV3QzwxL/?lang=pt#>. Acesso em 01 jun. 2023.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **História da soja**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/historia>. Acesso em 14 mai. 2023.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Fixação Biológica de Nitrogênio**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/producao/correcao-e-adubacao/fixacao-biologica-de-nitrogenio#:~:text=Mas%2C%20considerando%20os%20impactos%20ambientais,e%20de%20outros%20componentes%20ambientais>. Acesso em 14 mai. 2023.

FIGUEIRA, A. M. e S. O. Cultivo da Soja na Região Sudeste da Amazônia e suas Implicações na Dinâmica de Nitrogênio. 2013. 92p. Tese (Doutorado em Ciências - Centro de Energia Nuclear na Agricultura -Universidade de São Paulo), Piracicaba, 2013. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64135/tde-22052013-111124/publico/AdelaineMichelaSilvaFigueira_Revisada.pdf. Acesso em 05 jul. 2023.

FREIRE, D. **Ciência pode ajudar a reduzir impacto de fertilizantes nitrogenados no meio ambiente**. Agência FARESP, 2016. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/ciencia-pode-ajudar-a-reduzir-impacto-de-fertilizantes-nitrogenados-no-meio-ambiente/23052/>. Acesso em: 5 jul. 2013.

HUNGRIA, Mariângela; CAMPO, Rubens José; MENDES, Iêda Carvalho. **Fixação Biológica de Nitrogênio na Soja**. EMBRAPA SOJA. Londrina. 2001. Disponível em <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPSO/18515/1/circTec35.pdf>. Acesso em 02 jun. 2023.

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: Embrapa Cerrados, 2007. 80p. (Documentos/Embrapa Soja, n.283).

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. **Bioinsumos na Cultura da Soja; Capítulo 8: Fixação Biológica do Nitrogênio.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA SOJA). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 1º Edição. Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1147044/1/cap-8-Bioinsumos-na-cultura-da-soja.pdf>. Acesso em 04 jul. 2023.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; NOGUEIRA, M. **A pesquisa em Fixação Biológica do Nitrogênio na Embrapa Soja: passado, presente e perspectivas futuras.** Anais da XVI. Relare. Londrina/PR. 2012. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/990886/1/Apesquisaemfixacaobiologicadonitrogeni-onaEmbrapaSojapassadopresenteeperspectivasfuturas.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2023.

HUNGRIA, M. **Inoculação com Azospirillum brasilense: inovação em rendimento a baixo custo.** Documentos Embrapa Soja, Nº 325. Londrina: Embrapa Soja, 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/29676/1/Inoculacao-com-azospirillum.pdf>. Acesso em 04 de jul. 2023.

JONES, F. **Os primeiros inoculantes: Produtos feitos com bactérias que captam nitrogênio na lavoura de soja remontam aos anos 1960.** Revista pesquisa FARESP. Nº 285. Ano: 2019. Disponível em: [https://revistapesquisa.fapesp.br/os-primeiros-inoculantes/#:~:text=O%20sucesso%20comercial%20alcan%C3%A7ado%20pela,Freire%20\(1923%2D2015\)](https://revistapesquisa.fapesp.br/os-primeiros-inoculantes/#:~:text=O%20sucesso%20comercial%20alcan%C3%A7ado%20pela,Freire%20(1923%2D2015).). Acesso 23 mai. 2023.

LOPES, C. A. **Manual Internacional de Fertilidade do Solo. 2º Edição Revisada e Ampliada.** IPNI (Instituto Internacional Planto Nutrition. Associação Brasileira para pesquisa do Potassa e do Fosfato. 1998.

MEDEIROS, L. **Comparativo De Custos de Produção entre a Soja Convencional e a Soja Transgênica na Safra 2002/2003 - Rio Grande do Sul.** ConTexto, Porto Alegre, v. 3, n. 5, 2º semestre 2003. Disponível em: <file:///C:/Users/Linux/Downloads/00220155,+11676-39208-1-CE.pdf>. Acesso em 26 de jun. 2023.

MENDES, I. de C.; HUNGRIA, M.; MERCANTE, F.; BUENO, F. **Fixação Biológica de Nitrogênio na Soja: Bom para o Solo para o Bolso do Agricultor e para o Brasil.** 2010. Disponível em <http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=23030&secao=C>. Acesso em 04 jun. 2023.

MERCANTE, F. M., OTSUBO, A. A. **Fixação de nitrogênio em soja: a simbiose perfeita?.** Anais da XXVII Reunião Latinoamericana de Rizobiologia. Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS, Brasil. 2016. Disponível em: <file:///C:/Users/Linux/Downloads/RELAR-p.-104-2.pdf>. Acesso em 04 de jul. 2023.

PRANDO, A. M.; OLIVEIRA, A.B. de; LIMA, D.de L., POSSMAI, E. J.; REIS, E. A.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. H.; CONTE, O. **Coinoculação da soja com**

Bradyrhizobium e Azospirillum na safra 2019/2020 no Paraná. Curricular Técnica 166. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Londrina, Paraná. Novembro, 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/220542/1/Clrc-Tec-166.pdf>. Acesso em 27 de jun. 2023.

PASTORE, S. M.; OLIVEIRA, W.P.; BRUMANO, G. **Mercado de milho, farelo de soja e ovos no Brasil de 2010 a 2013.** Revista Eletrônica Nutritime, Viçosa-MG, v. 11, n. 1, p. 2982-3006, 2014. Disponível em: <https://nutritime.com.br/wp-content/uploads/2020/02/Artigo-225.pdf>. Acesso em 04 jul. 2023.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico.** Novo Hamburgo, RS: Feevale, 2013.

RESENDE, Á. V. de. **Agricultura e qualidade da Água: Contaminação da água por nitrato.** EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Documentos 57. 2002. Disponível em https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/24718/1/doc_57.pdf. Acesso em 22 mai. 2023.

SILVA, M. V. **O Modelo de Schwartz e Smith na Gestão Estratégica do Preço da Soja.** Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2019. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/11371/TCC%20-%20Mayara%20Vicentini.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 05 jul. 2023.

TERRA MAGNA. **Ranking dos maiores produtores de soja do mundo.** Disponível em: <https://terramagna.com.br/blog/ranking-maiores-produtores-soja/#:~:text=Quais%20s%C3%A3o%20os%205%20maiores%20produtores%20de%20soja%20do%20mundo%3F&text=Os%205%20maiores%20produtores%20de%20soja%20do%20mundo%20s%C3%A3o%2C%20respectivamente,o%20maior%20exportador%20da%20commodity>. Acesso em 05 jul. 2023.