



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA - UFPB
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CCA
CURSO DE BACHAREL EM AGRONOMIA**

ROSÂNGELA LETICIA ALVES BATISTA

FIXAÇÃO SIMBIÓTICA DE NITROGÊNIO NA CULTURA DA SOJA

AREIA

2021

ROSÂNGELA LETICIA ALVES BATISTA

FIXAÇÃO SIMBIÓTICA DE NITROGÊNIO NA CULTURA DA SOJA

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Prof. Dr. Leossávio César de Souza

Orientador

AREIA

2021

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

B333f Batista, Rosângela Letícia Alves.

Fixação simbiótica de nitrogênio na cultura da soja / Rosângela Letícia Alves Batista. - Areia:UFPB/CCA,2021.

25 f.

Orientação: Leossávio César de Souza.
TCC (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Glycine max. 3. Inoculante. 4. Bactéria. 5. Nódulos. I. Souza, Leossávio César de. II.

Título.

UFPB/CCA-
AREIA

CDU631/635 (02)

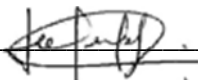
ROSÂNGELA LETICIA ALVES BATISTA

10.0

FIXAÇÃO SIMBIÓTICA DE NITROGÊNIO NA CULTURA DA SOJA

Aprovado em 29 de junho de 2021.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Leossávio César de Souza
(DFCA/CCA/UFPB)
Orientador



José Manoel Ferreira de Lima Cruz
Doutorando em Agronomia/Fitopatologia
(UFLA)
Examinador



Otília Ricardo de Farias
Doutora em Agronomia
(UFPB)
Examinadora

Dedico a Deus porque sem ele nada seria possível.

A meus pais Odete do Nascimento e Arnaldo Avelino que foram meu pilar, sempre me apoiando e incentivando.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que sempre foi meu alicerce, pois sem ele nada disso seria possível! Ele manteve e se mantém comigo em todos os momentos, os tornando únicos.

Agradeço a meus pais que sempre fizeram de tudo pela minha felicidade. Me apoiando e incentivando a ser uma pessoa melhor, humana e que dar sempre o melhor de si em tudo que faz.

Agradeço ao meu noivo Wellington Cabral que nunca mediu esforços para me ajudar, apoiar e incentivar nos momentos bons e ruins. Te amo! Agradeço também aos meus sogros Maria das Graças e Wilton Afonso por cuidarem de mim como uma filha.

Agradeço a meus irmãos Ricardo, Rodrigo e Anderson que sempre me ajudaram quando preciso, as minhas cunhadas e em especial a Socorro que sempre me ajudou nessa longa vida acadêmica.

Agradeço as minhas amigas/irmãs de casa Bárbara, Izabelly, Sabrina, Larissa e Rogéria que foram as melhores companheiras que eu poderia ter. Agradeço também a todos os amigos de turmas 2015.2 vocês são os melhores, levarei todos em meu coração.

Agradeço imensamente aos docentes da UFPB/CCA que passaram por minha vida no decorrer desses cinco anos, me ensinando a ser uma excelente profissional e pessoa, em especial ao meu orientador Dr. Leossávio César pelos ensinamentos, puxões de orelhas e paciência. O meio acadêmico precisa de mais professores humanos e excepcionais como o senhor.

Enfim, agradeço a todos, familiares, amigos e colegas que de alguma forma me ajudaram ao longo desses cinco anos de graduação. A todos vocês meu muito obrigada.

OBRIGADA ÀTODOS!

RESUMO

A cultura da soja foi introduzida no Brasil em 1882 e, devido ao alto teor de proteína em seus grãos, é considerada uma das mais importantes leguminosas do mundo. A otimização da sua produção tornou-se de grande importância, desse modo a utilização adequada de nutrientes tem um destaque importante para maximização na sua produção e com a utilização do processo biológico são alcançadas maiores produtividades com os menores custos. O uso de inoculantes no Brasil coincide com a expansão da soja no país e devido aos solos brasileiros não terem números favoráveis de bactérias fixadoras de nitrogênio são realizados programas de melhoramento e/ou avaliação de cultivares de soja e de bactérias fixadoras. Os microrganismos edáficos que realizam a fixação biológica de nitrogênio que podem ou não formar associações com os vegetais, são diazotróficos por fixarem nitrogênio atmosférico e para a conversão de nitrogênio atmosférico em amônia é utilizada a energia celular. A relação simbiótica entre a bactéria e a planta hospedeira é explicada, devido ambas fazerem trocas de sinais moleculares que regulam a expressão de genes para a infecção e desenvolvimento dos nódulos. A distribuição e coloração dos nódulos podem indicar se a inoculação teve sucesso. Nos solos brasileiros não existem bactérias do gênero *Bradyrhizobium* que tenha eficiência na nodulação, por isso é importante a introdução dessas bactérias e, a melhor maneira de introduzir bactérias novas é por meio da inoculação de semente. O inoculante pode ser encontrado de duas formas: turfosa ou líquida. No Brasil o inoculante turfoso tem sido o mais utilizado para leguminosa. Nos países da América do Sul o mercado de inoculante ultrapassa 40 milhões de doses anuais. A diminuição dos fertilizantes químicos e conseqüentemente dos seus resíduos contribui para a diminuição dos problemas ambientais.

Palavras-chaves: *glycine max*; inoculante; bactéria; nódulos.

ABSTRACT

The soybean crop was introduced in Brazil in 1882 and, due to the high protein content in its grains, it is considered one of the most important legumes in the world. The optimization of its production has become of great importance, so the proper use of nutrients is important to maximize its production and with the use of the biological process, higher yields are achieved at the lowest cost. The use of inoculants in Brazil coincides with the expansion of soybeans in the country and, as Brazilian soils do not have favorable numbers of nitrogen-fixing bacteria, improvement programs and/or evaluation of soybean cultivars and fixing bacteria are carried out. Edaphic microorganisms that carry out biological nitrogen fixation, which may or may not form associations with plants, are diazotrophic because they fix atmospheric nitrogen and cellular energy is used to convert atmospheric nitrogen into ammonia. The symbiotic relationship between the bacterium and the host plant is explained, as both make exchanges of molecular signals that regulate the expression of genes for the infection and development of nodules. The distribution and color of the nodules can indicate whether the inoculation was successful. In Brazilian soils there are no bacteria of the genus *Bradyrhizobium* that have nodulation efficiency, so it is important to introduce these bacteria and the best way to introduce new bacteria is through seed inoculation. The inoculant can be found in two forms: peat or liquid. In Brazil, peat inoculant has been the most used for legumes. In South American countries, the inoculant market exceeds 40 million doses per year. The reduction of chemical fertilizers and consequently of their residues contributes to the reduction of environmental problems.

Keywords: *glycine max*; inoculant; bacterium; nodules.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVO GERAL	9
3. OBJETIVO ESPECÍFICO	9
4. METODOLOGIA	9
5. DESENVOLVIMENTO	10
3.1 Histórico da fixação biológica de nitrogênio.....	10
3.2 O processo de fixação biológica de nitrogênio.....	11
3.3 Relação dose do inoculante versus nodulação satisfatória.....	14
3.4 Afinidade das bactérias com as cultivares de soja.....	15
3.5 Tipos de inoculantes utilizados no Brasil.....	16
3.6 RELARE (Reunião da Rede de Laboratórios para a Recomendação, Padronização e Difusão de Tecnologia de Inoculantes Microbianos de Interesse Agrícola).....	17
3.7 Pesquisas recentes com a FBN em soja.....	18
3.8 O mercado de inoculantes.....	19
4. CONCLUSÕES	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) pertence à família Fabaceae, ao gênero *Glycine* e espécie *G max*. Seus grãos são usados pela agroindústria, indústria química e de alimentos, boa parte da produção de soja no Brasil vai para a indústria que o transforma em derivados como farelo e óleo (FREITAS,2011). A produção de soja no mundo no ano de 2021 foi de 362,947 milhões de toneladas segundo a USDA, no Brasil a produção foi de 135,409 milhões de toneladas e produtividade de 3.517 kg/ha Segundo a CONAB (EMBRAPA SOJA, 2021).

É considerada uma das mais importantes leguminosas cultivadas no mundo, sendo considerado um dos grãos essenciais na existência da civilização chinesa. Os primeiros cultivares de soja foram introduzidos na Coreia e em seguida no Japão por volta de 200 a 300 anos antes de Cristo. O seu cultivo no Brasil só se deu em 1882. Por possuir alto teor de proteína em seus grãos (em média 38%) e por ser fácil a adaptação em diferentes climas e fotoperíodos, a soja se tornou uma das principais oleaginosas do mundo (SOUZA, 2018).

Levando em consideração que a produção de alimento não possui um crescimento rápido para que comporte o avanço da população, a soja, possui grande relevância econômica, social e ambiental para a sociedade. Nesse cenário, a otimização da produção desta planta tornou-se de grande importância, visando a sustentabilidade do seu processo de produção. Diversos fatores influenciam para a obtenção de elevadas produtividades na cultura da soja, dentre as mesmas tem um destaque importante o suprimento adequado de nutrientes. Com isso, a utilização do processo biológico é muito importante, pois são alcançadas maiores produtividades com menor custo por produção, gerando maior competitividade e refletindo diretamente na balança comercial do país (MANFRO, 2020).

Devido a soja ter um elevado teor proteico em seus grãos tornou-se muito importante o estudo da fixação do nitrogênio pela mesma. Como o nitrogênio (N) é um elemento chave na síntese de proteínas, sua demanda é elevada na cultura, que chega a acumular cerca de 100 kg a 200 kg de N/ha, sendo grande parte alocados nas sementes. O nitrogênio pode ser absorvido pelas plantas diretamente do solo ou pela fixação simbiótica de nitrogênio, sendo as bactérias da família *Rizobiacea* geralmente encarregadas de realizar essa fixação e também pela fixação abiótica que é independente da ação dos organismos vivos, no entanto não é amplamente utilizada por não ser economicamente e nem ecologicamente viável (BOHRER e HUNGRIA, 1998).

O nitrogênio é um nutriente muito móvel no floema, quando a planta fica com deficiência desse nutriente a relação carboidrato solúveis/proteína é maior, pois falta nitrogênio para síntese proteica. A deficiência de nitrogênio além de causar baixos teores de proteínas dos grãos, causa uma clorose total das folhas mais velhas, proveniente de uma menor produção de clorofila (SFREDO et al., 2010).

A utilização dos fertilizantes nitrogenados tem assimilação mais rápida pela planta, porém tem um custo bastante elevado. No processo industrial desses fertilizantes há um alto gasto de fontes energéticas não-renováveis. Além de que, a sua utilização pelas plantas demonstra uma baixa eficiência. O que significa que o agricultor irá perder 50% do fertilizante nitrogenado em um curto espaço de tempo, pelos processos de lixiviação, transformação em formas gasosas, entre outros. Deve-se levar em conta também que o uso indiscriminado de fertilizantes nitrogenados causa poluição ambiental, resultando na acumulação em rios, lagos e lençóis freáticos. Por estes motivos o melhor método de fixação de nitrogênio na cultura da soja é a fixação simbiótica, pois, além de ser rentável não degrada o meio ambiente (HUNGRIA et al., 2001).

2. OBJETIVO PRINCIPAL

Por tanto, o presente trabalho objetivou-se realizar uma revisão com enfoque na fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja.

3. OBJETIVO ESPECÍFICO

Realizar pesquisas bibliográficas sobre a fixação biológica de nitrogênio englobando seu desenvolvimento, produção, comercialização e utilização.

4. METODOLOGIA

A elaboração deste trabalho se deu através de pesquisas de fonte bibliográficas, como livros, dissertações, teses, artigos, trabalho de conclusão de curso e trabalhos em campo.

A dada pesquisa analisou o histórico de inoculantes no Brasil e no mundo, como é realizado o processo de fixação, a relação dose de inoculante com a nodulação e afinidade das bactérias fixadoras com as principais cultivares de soja.

Além disso, foram pesquisados os tipos de inoculantes utilizados no Brasil, o mercado para esses inoculantes e sobre a instituição RELARE (Reunião da Rede de Laboratórios para a Recomendação, Padronização e Difusão de Tecnologia de Inoculantes Microbianos de Interesse Agrícola), mostrando como se deu sua criação, quais seus principais objetivos e funcionamento.

Comtemplando o trabalho foram citadas e analisadas pesquisas recentes de campo relacionadas aos inoculantes biológicos com as cultivares de soja, levando em consideração seu uso, ocorrência e melhores resultados dentre os inoculantes e cultivares utilizadas em cada trabalho.

5. DESENVOLVIMENTO

5.1. Histórico da fixação biológica de nitrogênio

O uso de inoculantes microbianos no Brasil coincide com a história da expansão da soja no país, tendo em vista que a mesma não é nativa do Brasil e que os solos brasileiros não possuem números favoráveis de bactérias fixadoras de nitrogênio capazes de formar nódulos (CARVALHO et al., 2009). Por essa razão a mais de 50 anos são realizados programas de melhoramento e/ou avaliação de cultivares de soja e das bactérias do gênero *Bradyrhizobium japonicum* e *B. elkanii* visando identificar as melhores condições em que o nitrogênio que essas plantas necessitem possa vir da fixação biológica. Essas pesquisas são realizadas no Brasil, na Argentina e em alguns países produtores da América do Sul (HUNGRIA, 2011).

As primeiras tentativas de utilizar a fixação de nitrogênio foram feitas em meados da década de 40 por José Gomes da Silva, no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e posteriormente por João Rui Jardim Freire, na Secretaria de Agricultura do Rio Grande do Sul, ambos testaram a inoculação com inoculantes importados e reisolamentos nacionais na cultura da soja, feijão e trevo. O que levou na época a uma distribuição de inoculantes em pequena quantidade nos dois centros (DOBBEREINER et al., 1980).

A comissão Nacional de Soja, na década de 60 estimulou que os trabalhos de melhoramento da soja fossem realizados sem adubação nitrogenada, com isso ficou bem claro a importância da simbiose da soja nos programas de melhoramento. Em dois anos seguidos foram realizados ensaios nacionais de inoculação, testando os inoculantes importados com os nacionais. Os inoculantes brasileiros tiveram resultado satisfatório em relação aos importados,

e com isso começou a dar ênfase aos inoculantes adaptados aos solos, cultivares e climas brasileiros (DOBBEREINER et al., 1980).

A fixação biológica de nitrogênio é atualmente a forma mais utilizada como fonte de N para a soja, tudo isso graças as bactérias geralmente do gênero *Bradyrhizobium*, quando entram em contato com as raízes da soja, as infectam por meios de pelos radiculares, formando os nódulos radiculares. A planta fornece açúcares da fotossíntese que serão utilizados pelas bactérias fixadoras de nitrogênio como energia para que ocorra a fixação do nitrogênio. Em troca do carbono fornecido pela planta o microrganismo fornece nitrogênio para a planta hospedeira (STEPHEN, 2011).

O aumento do uso dos inoculantes microbianos pelos agricultores vem crescendo a cada dia, além da notável eficiência da fixação de nitrogênio proporcionam menor custo, diminuição nos problemas ambientais e significativa contribuição para a fertilidade do solo. Com o elevado uso desses inoculantes microbianos o seu uso está tendo altas demandas de atualização na legislação, de treinamento para fiscalização e de laboratórios com experiência em análises de inoculantes. Essas medidas são de grande importância para que se tenha uma boa qualidade de inoculantes, implicando em um aumento de células viáveis nas sementes o que resulta na alta eficiência da fixação biológica de nitrogênio (CARVALHO et al., 2009).

5.2. O processo de fixação biológica de nitrogênio

A fixação biológica de nitrogênio é realizada por microrganismos edáficos que podem ou não formar associações com vegetais. São denominados diazotróficos por terem capacidade de fixar nitrogênio atmosférico. Para a realização da conversão de nitrogênio atmosférico em amônia é utilizada a energia celular na forma de adenosina trifosfato para que ocorra esse processo (BARBOSA et al., 2012).

Desse modo, a fixação biológica de nitrogênio é o processo em que a maior parte no nitrogênio atmosférico foi incorporado à matéria viva, ao longo dos tempos. Esse processo até os dias atuais é o mais importante para a via de incorporação de nitrogênio ao ecossistema, que passa a ser reciclado para a atmosfera principalmente pela ação das bactérias fixadoras de nitrogênio e os organismos denitrificadores. Garantindo assim um reservatório inesgotável de nitrogênio na atmosfera, além de ser responsável por: garantir um ecossistema equilibrado, pela redução nas aplicações de compostos nitrogenados, que levam a contaminação das águas e dos vegetais que serão consumidos pelo homem (MARIN et al., 2010).

Inoculante é todo produto que contenha microrganismos favoráveis ao crescimento de plantas. Com isso, os inoculantes são meios de transporte para as bactérias que foram selecionadas. No Brasil existem inoculantes de duas formas físicas: sólidas (em pó) e fluídas (líquidas). A formulação de cada inoculante deve ter apenas estirpes que são recomendadas pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA (CARVALHO et al., 2010).

A legislação brasileira exige uma concentração mínima de 1×10^9 células viáveis por grama ou ml do produto e 1×10^{-5} sem contaminantes na diluição. Para soja, além disso a dose de inoculante aplicada deve fornecer, no mínimo 1,2 milhões de células viáveis por semente de soja, devendo manter a garantia registrada até a data de vencimento. Deste modo, os inoculantes que serão comercializados tem que passar por análises quantitativas e qualitativas realizadas em laboratórios por autoridades para garantir a eficiência da FBN e com isso se tenha um aumento da produtividade e redução dos custos para o produtor (CARVALHO et al., 2010).

De acordo com o Art 1º da Lei Nº 13, de 24 de março de 2011 (Brasil, 2011) a validade de cada inoculante tem que ter prazo de no mínimo seis meses a partir da data de fabricação. No rótulo da embalagem deve conter informações sobre a natureza física do inoculante e especificação a qual cultura se destina. Além disso, conter informações de conservação, modo de aplicação, especificações de dosagens e número do lote a que se refere a unidade do produto.

A relação simbiótica entre a bactéria e a planta hospedeira é explicada, devido ambas fazerem trocas de sinais moleculares que regulam a expressão de genes para a infecção e posterior desenvolvimento dos nódulos. No entanto, mesmo existindo essa relação simbiótica ainda existem relatos de casos de insucessos devido a fatores bióticos e abióticos que afetam tanto a planta como a estirpes utilizada (BRANDELERO et al., 2009).

Os fatores abióticos de mais relevância são: toxidez do alumínio (limita o crescimento radicular e conseqüentemente a nodulação), a acidez do solo, salinidade, deficiência em fertilidade do solo, molibdênio e cobalto (são os precursores das enzimas nitrogenase e redutase que são essenciais para o metabolismo do nitrogênio), estresse hídrico (faz com que ocorra a redução de oxigênio para a bacteroide, dificultando a síntese de leghemoglobina), a luminosidade e o teor de O_2 e toxinas no nódulo (afetam diretamente na sobrevivência e nodulação), manejo do solo e sistema de plantio direto (com maior quantidade de carbono no solo aumenta o teor de nitrogênio orgânico, quando passa pelo processo de mineralização pode limitar a produção de nódulos) (SCHNEIDER, 2015).

Já os fatores bióticos que mais influenciam na formação de nódulos radiculares, podem ser devido à seleção de cultivares que não sejam compatíveis com a estirpe, presença de

parasitas ou predadores do microrganismo, produção de antibióticos por actinomicetos e competição pelo sítios de ação com outras populações de bactérias (SCHNEIDER, 2015).

Segundo CAMPOS et al., (2001) para que se tenha efeitos positivos na nodulação é necessário que se utilize um inoculante de boa qualidade, que seja feita a aplicação na dosagem e de forma correta, semear a semente com menos de 24 horas após a aplicação do inoculante e levar em consideração a condição do ambiente.

A formação dos nódulos nas raízes é um processo complexo mostrado na figura I, envolve vários estádios. Primeiramente as sementes em germinação e as raízes exsudam moléculas que fazem com que os rizóbios sejam atraídos quimicamente, outras raízes estimulam o crescimento das bactérias na rizosfera da planta hospedeira e outras fazem desencadear diversos genes, tanto na planta como na bactéria. Em seguida, as bactérias penetram as raízes da soja provocando um crescimento das células específicas da planta hospedeira, formando assim os nódulos onde elas ficarão (HUNGRIA et al., 2001).

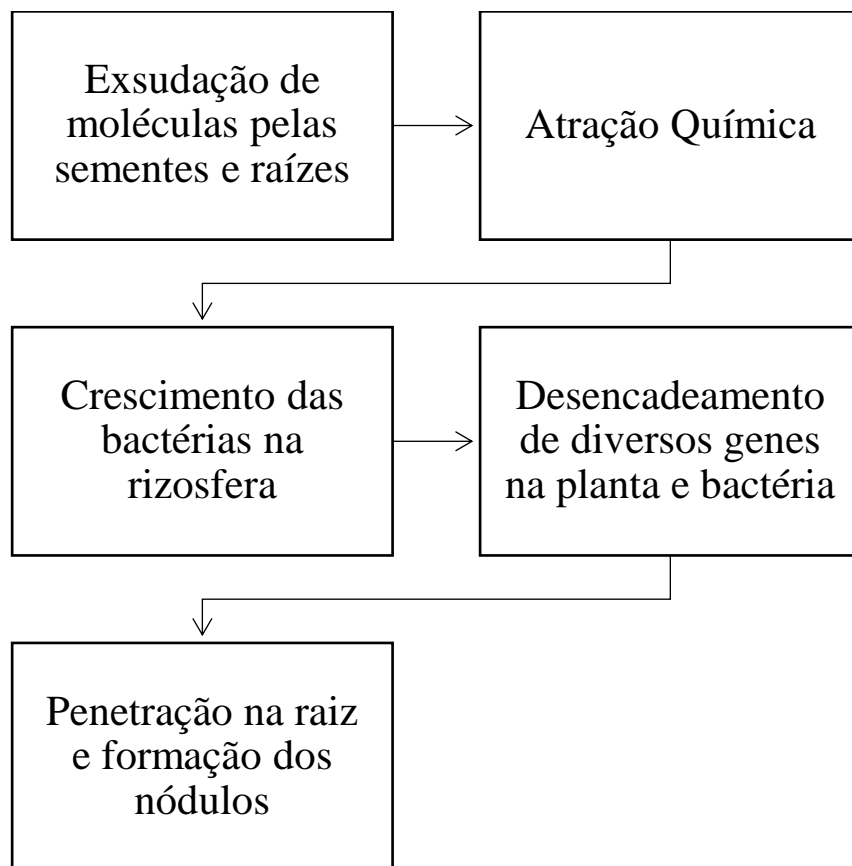


Figura I: fluxograma formação dos nódulos radiculares

A distribuição e coloração dos nódulos podem indicar se a inoculação teve sucesso ou não. Os sítios de infecção nodular nas raízes acontecem por poucas horas, e apenas na região sub-apical. Os nódulos presentes na região do colo da raiz são evidências de que provavelmente foram formados das estirpes inoculadas. Nódulos de coloração róseos são ativos, essa cor é devido a leg-hemoglobina, substância responsável pelo transporte de oxigênio para as células fixadoras de nitrogênio nos nódulos (VARGAS et al., 1994).

A inoculação das sementes deve ser realizada a sombra e, preferencialmente pela manhã. Pode ser de forma manual ou com auxílio de máquinas. Quando for realizar a inoculação manualmente deve-se utilizar uma substância adesiva, geralmente, recomendada pelo fabricante (HUNGRIA et al., 2007). Para aumentar a aderência do inoculante às sementes e conseqüentemente promover a nodulação e fixação de nitrogênio mais precoce. É recomendado que o agricultor realize a semeadura no mesmo dia da inoculação, porém, em grandes áreas existem dificuldades para seguir essa recomendação (VARGAS et al., 1994).

Existem no mercado máquinas eficientes e baratas utilizadas para o tratamento e inoculação de sementes. São utilizados fungicidas líquidos nas máquinas, diminuindo os riscos de intoxicação do operador. A máquina também pode ser levada a campo e é possível fazer a inoculação de 60 a 60 sacas. h⁻¹ (HUNGRIA et al., 2007).

A inoculação da soja no sulco de semeadura tem sido uma estratégia que torna possível o tratamento de inoculação em sementes que tenham sido tratadas com fungicidas, sendo uma pratica recomendada tecnicamente desde a safra 2003/2004. Porém, ainda existem poucas informações sobre os benefícios e malefícios dessa pratica (ZILLI et al., 2010).

Durante cinco safras foram realizados estudos para avaliar qual o volume de água e o número de células necessários para que as respostas fossem favoráveis a essa técnica. Após as pesquisas, concluíram que a dosagem indicada para a inoculação em sulco deveria ser de no mínimo seis vezes mais que a indicada para a inoculação das sementes. Essa técnica viabiliza a aplicação de fungicidas nos tratamentos de sementes, sem que ocorra redução nas taxas de fixação do nitrogênio e no rendimento da soja. Por outro lado, se torna mais onerosa, por ter que ser feita uma maior aplicação do inoculante e pelo transporte de água que deve ser superior a 50 L.ha⁻¹ (HUNGRIA et al., 2007).

5.3. Relação dose do inoculante *versus* nodulação satisfatória

Como a soja não é nativa do Brasil, não existem bactérias do gênero *Bradyrhizobium* que tenha eficiência comprovada na nodulação da soja de ocorrência natural nos solos brasileiros. Por esse motivo, é extremamente necessário que seja feita a introdução de bactérias fixadoras em novas áreas de plantio, pois para se ter uma relação simbiótica eficiente entre a bactéria e planta se requer milhares de anos (JUNIOR, 2017).

Em áreas de primeiro cultivo, onde as populações de rizóbios são inexistentes ocorre um retardamento inicial da nodulação, acarretada pelo uso de pequenas doses de nitrogênio na semeadura, o que pode levar a sérios prejuízos na produtividade da soja. Nestas áreas também podem ocorrer fatores adversos que dificultarão o processo de nodulação, como a deficiência hídrica (SILVA et al., 2011).

A melhor maneira de se introduzir bactérias novas em solos brasileiros é por meio da inoculação de sementes. A dose mínima recomendada para áreas que já possuem população de rizóbios é de 5×10^6 células por semente inoculada, já para áreas de primeiro cultivo e/ou áreas com acidez elevada e pH em água menor que 5,5 recomenda-se o dobro ou o triplo da dose mínima, tendo em vista que nesses solos ainda não existem populações dessas bactérias (SILVA et al., 2011).

No Brasil, a legislação atual estabelece que os inoculantes comercializados no país tem que conter uma concentração mínima de $1,0 \times 10^9$ células viáveis de bactérias nitrificantes por mL, para inoculante líquidos e mg para turfoso. O fabricante é responsável por trazer essas informações nos rótulos, definir a recomendação mínima de 1,2 milhões de células viáveis por semente tratada, concentração do produto e prazo de validade (JUNIOR, 2017).

5.4. Afinidade das bactérias com as cultivares de soja

A relação simbiótica só ocorre quando ambos, bactérias e plantas fazem uma troca de sinais moleculares que faz com que ocorra a expressão dos genes para a infecção e desenvolvimento dos nódulos radiculares. Com isso, vários estudos visam potencializar a eficiência simbiótica entre a planta de soja com a estirpes de *Bradyrhizobium*, buscando a máxima produtividade na cultura. Por outro lado, existe variabilidade quanto a eficiência do processo simbiótico das estirpes que nodulam a soja, gerando interações diferentes entre as bactérias e os genótipos de soja (BRANDELERO et al., 2009).

Diversos trabalhos buscaram identificar as diferenças relevantes entre cultivares de soja quanto ao potencial de nodulação e fixação de nitrogênio. Os autores chegaram à conclusão de

que a quantidade de massa seca da parte aérea é um excelente parâmetro para selecionar a simbiose que tem maior desempenho para a soja. Pois, as folhas são órgãos que dominam a regulação da produção de sinal para a nodulação na soja (GONZAGA et al., 2020).

Brandalero et al. (2009), desenvolveu um estudo no qual avaliou o efeito da nodulação no rendimento de grãos de soja, onde sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* com mistura das estirpes SEMIA 587 e SEMIA 5019, em nove variedades de soja, que foram: Conquista (MG/BR46), Curió (MT/BR52), Celeste (BRS60), Liderança (MG/BRS66), Paiaguás (MT/BR45), Parecis (MT/BR50), Tucano (MT/BR53), Uirapurú (MT/BR55) e Rio Vermelho (EMGOPA315) submetidas as condições climáticas do município de Cruz das Almas- BA. Verificaram que as cultivares Curió, Conquista e Liderança apresentaram melhores desempenhos do rendimento de grãos nas condições a qual foram submetidas, e que a nodulação tem relação com o rendimento final de grãos entre as variedades que foram estudadas.

5.5. Tipos de inoculantes utilizados no Brasil

O inoculante é considerado o melhor veículo para o rizóbio, seja ele de formulação turfosa ou líquida a mesma precisa de comprovações de sua eficiência agrônômica conforme as normas estabelecidas pelo RELARE aprovadas pelo MAPA. A quantidade mínima a ser aplicada deve fornecer em torno de 600.000 células por sementes (BALBINOT, 2018).

O principal objetivo dos inoculantes é assegurar um número suficiente de rizóbios na zona da raiz, com isso garantindo uma nodulação satisfatória. No final do século passado, foram produzidos os primeiros inoculantes comerciais em ágar, forma líquida, solo esterilizado e culturas secas em algodão. Somente na década de 1920, com o uso da turfa ocorreu incremento na utilização de inoculantes e esse se tornou o substrato mais utilizado mundialmente até os dias atuais (HUNGRIA e JUNIOR, 2000).

A turfa tem um dos melhores suportes para a elaboração de inoculantes em pó comerciais, porém devem se atentar as especificações, alta retenção de umidade, ausência de toxidez para a bactéria, seja fácil o processamento, fácil esterilização, disponibilidade em grande quantidade, baixo custo e boa adesão a semente. No Brasil o inoculante turfoso tem sido o mais utilizado dentre os inoculantes para leguminosas, apesar de que as participações de outros tipos como líquidos e géis esteja em grande crescimento nos últimos anos. Segundo a ANPII (Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes), no ano de 2016 os

inoculantes mais vendidos para soja foi o turfoso, cerca de 35 milhões de doses e 11 milhões de doses de inoculantes líquidos. A recomendação vigente de inoculação para o inoculante turfoso para a cultura da soja é de 500 ml de solução açucarada (25%), 500 g de inoculante turfoso para 50 kg de semente (HUNGRIA et al., 2000).

Os inoculantes líquidos tem tido grande aceitação devido a sua facilidade de manuseio e menor degaste das máquinas. Eles podem ser aplicados sobre as sementes e no sulco de semeadura. Tem como característica principal a facilidade de distribuição uniforme, ampliando a capacidade efetiva de aderência às sementes. A recomendação para inoculação segue a mesma forma que a turfosa, apenas substituindo a solução açucarada por água, tendo que seguir a proporção recomendada pelo fabricante afim de se obter o número mínimo de unidades formadoras de colônias (DANTAS, 2018).

Um experimento realizado no município de Sinop-MT, na safra de 2014/15 analisou que a cultivar de soja convencional obteve melhor resultado com o inoculante turfoso, cerca de 4.651,17 Kg ha⁻¹. Já a cultivar transgênica obteve melhor resultado com o inoculante líquido, chegando a produtividade de 4.023,24 Kg ha⁻¹. O autor destacou que essa alta produtividade para ambas as cultivares, pode ter sido resultado de uma boa FBN pelas bactérias (PELOZO et al., 2020).

5.6. RELARE (Reunião da Rede de Laboratórios para a Recomendação, Padronização e Difusão de Tecnologia de Inoculantes Microbianos de Interesse Agrícola)

A RELARE foi criada por iniciativa do Centro de Recursos Microbiológicos (MIRCEN) em Porto Alegre- RS em conjunto com o engenheiro agrônomo Solon Cordeiro Araújo da empresa NITRAL, produtora de inoculantes. A principal razão para a criação dessa instituição foi por não existir mecanismo para a recomendação de estirpes. A primeira reunião da RELARE foi realizada em Curitiba – PR no ano de 1985 (HUNGRIA et al., 2014).

A RELARE tem um papel muito importante nos avanços dos inoculantes brasileiros e foi decisiva para que hoje tenhamos a legislação mais avançada e organizada do mundo sobre inoculantes microbianos. Ela representa o fórum mais importante no Brasil para discutir novos produtos e novas tecnologias de inoculantes.

Segundo o Art, 2º do Estatuto Social da RELARE, que tem como principal objetivo apoiar e estimular o trabalho técnico, científico e industrial na área de inoculantes microbiológicos de interesse agrícola; estabelecer normas técnicas de recomendação de estirpes

de *Bradyrhizobium*, *Rhizobium* e outros microrganismos fixadores de nitrogênio; propor tecnologias de uso, produção e divulgação de inoculantes junto ao Ministério da Agricultura, entre outros.

As estirpes recomendadas para a cultura da soja segundo o RELARE são a Semia 587, Semia 5019, Semia 5079 e Semia 5080. No entanto diversas pesquisas estão sendo realizadas com novas estirpes de *Bradyrhizobium ssp* e *Rhizobium* e estão dando resultados satisfatórios, porém ainda precisam de mais estudos para serem recomendadas (DENARDIN, 2006).

5.7. Pesquisas recentes com a FBN em soja

Inoculação de diferentes doses de *bradyrhizobium* por cobertura e seu efeito na cultura da soja. ZAGO et al, (2018). O trabalho teve como objetivo avaliar os benefícios da inoculação de *Bradyrhizobium* na soja pela pulverização de cobertura, na nodulação, no desenvolvimento e na produtividade da mesma. Os resultados obtidos foram que após a realização da aplicação de *Bradyrhizobium* 1500 mL ha⁻¹ por pulverização, obteve um resultado significativo, sendo o número de nódulos 180,65 e 4,44 g planta⁻¹ da massa seca dos nódulos em comparação com o tratamento controle. Os resultados para matéria seca da raiz e matéria seca da parte aérea também foram favoráveis com o uso da pulverização, sendo 17,30 e 64,33 g planta⁻¹ respectivamente.

Interação entre densidade de semeadura e diferentes inoculantes no desempenho simbiótico e agrônômico da soja. BARBARO et al, (2019). Teve objetivo avaliar o comportamento simbiótico e agrônômico do cultivar BRS 7380 RR, submetida a três tratamentos, inoculação e densidade de semeaduras diferentes. Os resultados obtidos foram: quanto a nodulação da raiz o uso da densidade de 14 sementes m⁻¹ obteve maiores nodulação em relação as demais, em torno de 83,45 nódulos por planta. Já a nodulação total, obteve nos três tratamentos testados a densidade de 14 plantas m⁻¹ foi a que mais se destacou, promovendo consequentemente uma maior nodulação. Em relação a produtividade de grãos a coinoculação obteve um valor superior as demais, com 2056,19 kg ha⁻¹. Levando em consideração a densidade de semeadura a de 16 sementes m⁻¹ obteve uma produtividade de 2286,48 kg ha⁻¹ sendo superior as demais.

Efeito de inoculante com tecnologias integradas no crescimento inicial da soja. FERNANDES JÚNIOR NETO et al, (2020). O trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de

doses de inoculante à base de *Bradyrhizobium* e moléculas de lipo-quito-oligossacarídeos (LCOs), junto com protetor bacteriano como aditivo na inoculação das sementes de soja.

Os resultados obtidos desmontaram que em relação ao aumento da dose independente do inoculante, ocorreu um aumento no comprimento de raiz e nódulos provavelmente ativos cerca de 47,5 nódulos. Foi possível observar também que o inoculante com tecnologias integradas teve uma melhor estatística em relação ao convencional, e que o inoculante com tecnologias integradas proporcionou maior massa de matéria fresca dos nódulos.

Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja produzidas no Brejo Paraibano. SOUZA, M. S., (2018). O trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade fisiológica das sementes de soja cultivadas em casa de vegetação submetidas a diferentes tipos de inoculação e adubação.

Os resultados demonstraram que não houve efeito significativos em função da adubação com fosforo e potássio e efeitos significativos para os inoculantes no comprimento da raiz 10,23 cm com inoculação e 20,79 cm com adubação e de parte aérea 2,75 cm com inoculação e 0,49 cm com adubação, peso da matéria verde da raiz 100,74 g com inoculação e 11,92 g com adubação e seca 3,38 g e 0,52 g respectivamente.

5.8. O mercado de inoculantes

O mercado de inoculantes em países da América do Sul para as leguminosas ultrapassa atualmente 40 milhões de doses anuais, mais de 95% destinado a soja. Podendo ter elevado crescimento ao decorrer dos anos, pelo uso de microrganismos em co-inoculação com *Bradyrhizobium* que são capazes de promover o melhor desenvolvimento das plantas e/ou controle biológico, podendo citar as bactérias *Azospirillum*, *Pseudomonas* e *Bacillus* (HUNGRIA, 2011).

Segundo a ANPII (Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes) a mesma atingiu no ano de 2016 o melhor desempenho de vendas em relação aos anos de 2012 a 2015. Em 2012 foram comercializados mais de 22 milhões de doses, em 2016 o número foi para mais de 50 milhões. O inoculante mais vendido no mesmo ano foi o para soja, cerca de 46 milhões de doses de inoculantes turfoso e líquido.

A Embrapa Soja teve papel bastante relevante no setor produtivo de inoculantes nos últimos anos, ela foi responsável pela condução dos ensaios de eficiência agrônômica do

primeiro inoculante líquido registrado no Brasil, e hoje se tornou a formulação preferencial do produtor, representando cerca de 80% do mercado.

Devido aos novos patamares de produtividade da soja, necessidade de recuperação de áreas degradadas e da viabilização econômica de agricultores, faz-se necessário demandas políticas agrícolas e estratégias de pesquisa inovadoras que ande em comunhão com o meio ambiente. No Brasil as projeções são que nos próximos anos ocorra incremento substancial no uso de fertilizantes para que seja possível atender as demandas da agricultura. Neste contexto, é muito importante encontrar alternativa que diminua o uso excessivo de fertilizantes, por isso as bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico podem ter papel relevante e estratégico para garantir altas produtividade e baixo custo com menor dependência de insumos importados (HUNGRIA et al., 2012).

Atualmente existem nove empresas que produzem e comercializam inoculantes biológicos no Brasil registradas no ANPII (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PRODUTORES E IMPORTADORES DE INOCULANTES) que são a Agrocete, Bioagro, Laboratório Farroupilha, Microquímica, Nitro 100, Novozymes, Rizobacter, Stoller e Vittia (SOLON, 2019).

6. CONCLUSÕES

A utilização de inoculantes biológicos na cultura da soja tem tido vasto crescimento ao decorrer dos anos, demonstrando ser uma boa alternativa para se obter maior produtividade e baixo custo na produção. Contribuindo com esses efeitos positivos estão ligados os crescentes estudos relacionados ao tema e as legislações que fazem com que a eficiência dos inoculantes sejam mantidas.

A diminuição da utilização de fertilizantes químicos e, conseqüentemente, dos seus resíduos no ambiente contribui para que ocorra a diminuição dos problemas ambientais e uma melhor contribuição para a fertilidade do solo.

No Brasil, o inoculante turfoso é mais utilizado dentre os usados para as leguminosas e essa maior utilização se deu por terem melhores suportes para elaboração e por ter sido o primeiro inoculante a ser comercializado no Brasil.

REFERÊNCIAS

- BALBINOT, L. A. **Modos e doses de aplicação de inoculante na soja, em Sinop- MT.** Sinop- MT, 2018.
- BARBOSA, J. Z; CONSALTER, R; MOTTA, V; CARLOS, A. **Fixação biológica de nitrogênio em *Poaceae*.** Curitiba- PR, 2012.
- BOHRER, T, J; HUNGRIA, M. **Avaliação de cultivares de soja quanto à fixação biológica do nitrogênio.** Brasília- DF, 1998.
- BRANDELO, E. M; PEIXOTO, C. P; RALISCH, R.; **Nodulação de cultivares de soja e seus efeitos no rendimento de grãos.** Londrina- PR, 2009.
- BARBARO, T. M; SANTOS, G. X. L; MARTINS, M.H; CODEIRO, J., P. S; CORREA, A. N; POLLI, K. C; FINOTO, E. L; NAKAYAMA, F. T; SOARES, M. B. B. **Interação entre densidade de semeadura e diferentes inoculantes no desempenho simbiótico e agrônômico da soja.** Tanabi- SP, 2019.
- CAMPOS, B. C; HUNGRIA, M; TEDESCO, V. **Eficiência da fixação biológica de N₂ por estirpes de *Bradyrhizobium* na soja em plantio direto – Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v. 25, p.583-592, 2001.
- CARVALHO, G. A. B.; HUNGRIA, M.; MIURA, L. M. **Análise e controle da qualidade de inoculantes microbianos de interesse agrícola: bactérias fixadoras de nitrogênio.** Londrina – PR: Embrapa Soja, 2009.
- CARVALHO, G. A. B.; FERREIRA, E.; HUNGRIA, M. **A importância do controle de qualidade dos inoculantes.** Londrina- PR, 2010.
- DANTAS, E. A.; **Efeito de inoculantes e adubação em cultivar de soja produzida no município de Areia- PB.** Areia- PB, 2018.

DENARDIN, N. D.; **Aplicação de inoculantes define o sucesso da nodulação.** Visão Agrícola n°5, 2006.

DOBBEREINER, J; DUQUE, F. F. **Contribuição da pesquisa em fixação biológica de nitrogênio para o desenvolvimento do Brasil.** R. Econ. Rural, 1980.

GONZAGA, T. O. D; VILLAR, C. C; FILHO, A. S. S; SILVA, V. L. **Interação bradyrhizobium e azospirillum em cultivares de soja (glycine max (l.) Merrill) e seus efeitos na produtividade.** Canarana- MG, 2020.

FERNANDES JÚNIOR NETO, O. F. J.; SANTOS, C. L. R.; LIMA, V. M. M.; SILVA, C. F.; **Efeito de inoculante com tecnologias integradas no crescimento inicial da soja.** Barra das Garças - MT, 2020.

FREITAS, M. C. M. **A cultura da soja no brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola.** Goiânia – GO, 2011.

HUNGRIA, M; CAMPOS, R.J; NOGUEIRA, M. A. **A pesquisa em Fixação Biológica do Nitrogênio na Embrapa Soja: passado, presente e perspectivas futuras.** Londrina- PR, 2012.

HUNGRIA, M; ARAUJO, R. S; MERCANTE, F. M. **Anais da XVI RELARE Reunião da Rede de Laboratórios para Recomendação, Padronização e Difusão de Tecnologia de Inoculantes Microbianos de Interesse Agrícola.** Londrina- PR: EMBRAPA SOJA, 2014.

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- PR: EMBRAPA SOJA, 2007.

HUNGRIA, M; CAMPO, R. J; MENDES, I. C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja.** Londrina - PR: EMBRAPA SOJA, 2001.

HUNGRIA, M. **Fixação biológica do nitrogênio na perspectiva do Mercosul: novos conhecimentos e tecnologias disponíveis.** Londrina- PR, 2011.

HUNGRIA, M.; JUNIOR, O. B.; **Efeitos de doses de inoculante turfoso na fixação biológica de nitrogênio pela cultura da soja.** Londrina- PR, 2000.

JUNIOR, R. A. A; **Importância da inoculação de sementes de soja em área de primeiro cultivo.** Patrocínio- MG, 2017.

MANFRO, S. **Aplicação de micronutrientes no tratamento de semente para potencialização da fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja.** SAPEZAL – MG, 2020.

MARIN, V. A.; BALDANI, V. L. D; TEXEIRA, K. R. S; BALDANI, J. I.; **Fixação biológica de nitrogênio: bactérias fixadoras de nitrogênio de importância para a agricultura tropical.** Seropédica- RJ, 2010.

PELOZO, G.; VALE, W.G.; CHAVES, M. V. S.; VALE, P. A. C. B.; PACHECO, E. P.; Utilização de inoculantes e adubação nitrogenada relacionado ao rendimento e qualidade de grãos de soja. Aracajú – SE, 2020.

SCHNEIDER, R. J; **Nodulação e produtividade da soja em resposta ao uso de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense*.** Dois Vizinhos – PR, 2015.

SFREDO, G. J; OLIVEIRA, M. C. N. **Soja Molibdênio e Cobalto.** Londrina- PR, 2010.

SILVA, A. F; CARVALHO, M. A. C; SCHONINGER, E. L; MONTEIRO, S; CAIONE, G; SANTOS, P. A; **Dose de inoculante e nitrogênio na semeadura da soja em área de primeiro cultivo.** Uberlândia- MG, 2011.

SOJA em números (safra 2020/21). Embrapa soja, 2021. Disponível em <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>> . Acesso em 06 de jul. de 2021.

SOLON C. A. **Aliança Estratégica Tecnologia Modelo de Pesquisa da ANPII**. Agroanalysis, 2019.

SOUZA, M. S. **Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja produzidas no brejo paraibano**. Areia-PB, 2018.

STEPHEN, C. W. **Biological Nitrogen Fixation**. EUA, 2011.

VARGAS, M. A. T; SUHET, A. R; MENDES, I. C; PERES, J. R. R.; **Fixação biológica de nitrogênio em solos de cerrados**. Brasília- DF: EMBRAPA- CPAC/SPI, 1994.

VENDAS de inoculantes devem crescer cerca de 10% em 2017 em comparação ao ano anterior. ANPII, 2017. Disponível em: < <http://www.anpii.org.br/vendas-de-inoculantes-devem-crescer-10-em-2017-em-comparacao-ao-ano-anterior/>> . Acesso em: 05, maio de 2021.

ZAGO, L. F; LIMA, C. R; CRUZ, R. M. S; ALBERTON, O. **Inoculação de diferentes doses de *bradyrhizobium* por cobertura e seu efeito na cultura da soja**. Umuarama- PR, 2018.

ZILLI, J. E; GRUIANLUPPI, V; CAMPO, R. J; ROUWS, R. C; HUNGRIA, M.; **Inoculação da soja com *Bradyrhizobium* no sulco de semeadura alternativamente à inoculação de sementes**. Viçosa- MG, 2010.