

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS DOIS VIZINHOS  
CURSO DE AGRONOMIA**

**ALISON GRASSI**

**APLICAÇÃO EM SULCO DE BIOLÓGICOS E MICRONUTRIENTES NA CULTURA  
DA SOJA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II**

**DOIS VIZINHOS  
2022**

**ALISON GRASSI**

**APLICAÇÃO EM SULCO DE BIOLÓGICOS E MICRONUTRINES NA CULTURA DA  
SOJA**

**FURROW APPLICATION OF BIOLOGICAL PRODUCTS AND MICRONUTRIENTS IN  
SOYBEAN**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso Superior de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

**DOIS VIZINHOS**

**2022**



[4.0 Internaci-  
onal](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**ALISON GRASSI**

**APLICAÇÃO EM SULCO DE BIOLÓGICOS E MICRONUTRIENTES NA CULTURA  
DA SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação do Curso de Bacharelado em Ciência da Computação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Data de aprovação: 10/junho/2022

---

**PAULO FERNANDO ADAMI**

Doutor em Agronomia

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos.

---

**ÁLVARO LUIZ GHEDIN**

Mestrando em Agronomia

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos.

---

**SÉRGIO MIGUEL MAZARO**

Doutor em Fitopatologia

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos.

**DOIS VIZINHOS-PR**

**2022**

## DEDICATÓRIA

*Aos meus pais e a toda minha família por todo o apoio recebido, meu muito obrigado.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus por me guiar, amparar e abençoar todos os dias.

A minha família, especialmente meus pais Jamir e Rosângela, que me proporcionaram uma vida digna e sempre se esforçaram para meu sucesso. Sua grande força foi a mola propulsora que permitiu o meu avanço, mesmo durante os momentos mais difíceis. Agradeço do fundo do meu coração.

Ao meu nono Luiz Avelino Grassi (*in memoriam*), maior exemplo de um ser humano íntegro e ético, que ensinou a como me reerguer diante das adversidades da vida.

Aos meus irmãos Rafael e Guilherme, por estarem sempre participando comigo, pelo apoio e suporte que me deram durante todo o curso e pelas horas de ajuda dedicadas nesta monografia.

A minha namorada Emanuelle, pelo apoio incondicional oferecido em todos os aspectos. Muito obrigado pela sua presença em minha vida, gratidão infinita, minha querida.

Ao professor Dr. Sergio Miguel Mazaro pela orientação e amizade, paciência e pelos grandes conselhos e incentivos para meu crescimento profissional.

Aos amigos e colegas de curso e do grupo Biofito, que tornaram tudo mais “leve” e divertido, foram meus companheiros de “luta” ao longo de todo esse tempo.

Enfim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação em todos os sentidos. A vocês, meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

A cultura da soja (*Glycine max*) é a principal *commoditie* produzida no Brasil e demanda elevado uso de agroquímicos no sistema de adubação e no manejo fitossanitário. Felizmente, a soja é altamente eficiente no uso do nitrogênio atmosférico por meio da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), via associação simbiótica com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*. Além de *Bradyrhizobium*, através de métodos de coinoculação bactérias do gênero *Azospirillum* vem sendo utilizadas na cultura da soja com resultados positivos em ganhos de produtividade. Mais recentemente vem se associando a coinoculação à *Pseudomonas fluorescens*, bem como ao uso dos micronutrientes cobalto e molibdênio aplicados tanto via tratamento de semente como em jato direcionado no sulco de cultivo. Neste contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar o potencial da coinoculação com *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* associados à *P. fluorescens* e aos micronutrientes cobalto e molibdênio aplicados por jato direcionado via sulco de semeadura, sobre o desempenho agrônômico da cultura. O experimento foi instalado em uma lavoura comercial, no município de Cruzeiro do Iguaçu/PR, durante a safra agrícola 2021/2022, sendo utilizado a cultivar de soja Brasmax Zeus IPRO. Foram constituídos cinco tratamentos sendo: 1-Testemunha absoluta; 2- Coinoculação (*Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense*)+ *P. fluorescens*; 3- Coinoculação + Cobalto (Co) e Molibdênio (Mo)+ *P. fluorescens*; 4- somente coinoculação; 5- Coinoculação + Cobalto e Molibdênio, em delineamento experimental de blocos casualizados com quatro repetições. Foram efetuadas avaliações em três momentos, sendo a primeira na fase fenológica R4, aonde determinouse o estado nutricional das plantas. Em R5.1 foram avaliados a quantidade de nódulos radiculares, altura de parte aérea e comprimento radicular, e na colheita analisado a produtividade. Para a análise e interpretação dos dados do experimento, foi utilizado o software Sasm-agri. Os resultados demonstraram que a aplicação no sulco de plantio da soja com microorganismos *Bradyrhizobium*, *Azospirillum* e *Pseudomonas* associados a micronutrientes Co e Mo promoveu maior nodulação, plantas mais bem nutridas e maior produtividade de grãos. A coinoculação proporcionou incrementos significativos na produtividade da soja sendo de 12,93 % em relação a testemunha. A aplicação dos micronutrientes cobalto e molibdênio contribuiu para incrementos de produtividade na cultura da soja, com uma produtividade de 24,29 % em relação a testemunha absoluta.

**Palavras-chave:** coinoculação, *Bradyrhizobium*, *Azospirillum*, *Pseudomonas fluorescens*, cobalto, molibdênio.

## ABSTRACT

Soybean (*Glycine max*) is the main commodity produced in Brazil, demanding high use of agrochemicals, in the fertilization system and in phytosanitary management. Fortunately, soybean is highly efficient in the use of atmospheric nitrogen through Biological Nitrogen Fixation (FBN), via symbiotic association with bacteria of the genus *Bradyrhizobium*. In addition to *Bradyrhizobium*, bacteria of the genus *Azospirillum* have been used in soybean cultivation, which is called coinoculation, with positive results in productivity gains. More recently, coinoculation has been associated with *Pseudomonas fluorescens*, as well as the use of micronutrients cobalt and molybdenum and applied via directed jet in the furrow. In this context, the objective of this work is to evaluate the potential of coinoculation, with *Bradyrhizobium japonicum* and *Azospirillum brasilense* associated with *P. fluorescens* and cobalt and molybdenum micronutrients applied by directed jet via seed furrow, on the agronomic performance of the crop. The experiment will be installed in a commercial farm, in the city of Cruzeiro do Iguaçu, Parana, states, during the 2021/2022 agricultural season, using the soybean cultivar Brasmax Zeus IPRO. Five treatments will be constituted: 1- Absolute witness; 2- Only Co-inoculation (*Bradyrhizobium japonicum* and *Azospirillum brasilense*); 3- Coinoculation + Cobalt and Molybdenum; 4- Coinoculation + *Pseudomonas*; 5- Co-inoculation + Cobalt and Molybdenum + *Pseudomonas*, in a randomized block design with five replications. Evaluations were carried out in three moments, the first being in the R4 phenological phase, where the nutritional status of the plants was determined. In R5.1, the number of root nodules, shoot height and root length were evaluated, and productivity was analyzed at harvest. For the analysis and interpretation of the experiment data, the Sasm-agri software will be used. The results showed that the application in the soybean furrow with *Bradyrhizobium*, *Azospirillum* and *Pseudomonas* microorganisms associated with Co and Mo micronutrients promoted greater nodulation, better nourished plants and higher grain yield. Co-inoculation provided significant increases in soybean productivity, being 12.93% higher in relation to the control. The application of the micronutrients cobalt and molybdenum contributed to increases in productivity in the soybean crop, with a productivity of 24.29% in relation to the absolute control.

**Keywords:** co-inoculation, *Bradyrhizobium*, *Azospirillum*, *Pseudomonas fluorescens*, cobalto, molybdenum.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura1-Nodulação da soja .....  | 10 |
| Figura2-Verificação da densidade de semeadura .....  | 18 |
| Figura3 – Adição dos produtos no tanque de inoculação.....   | 19 |
| Figura4-Determinação dos teores de nutrientes.....   | 21 |
| Figura 5 – Avaliação da quantidade de nódulos, altura de parte aérea e comprimento radicular ..... | 21 |
| Figura6-Colheita dos ensaios.....  | 22 |



## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Avaliação da nodulação (quantidade de nódulos), altura de parte aérea e comprimento radicular da soja ..... | 23 |
| Tabela 2 – Teores de nitrogênio, fósforo, potássio e proteínas da análise de seiva .....                               | 23 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 1 – Produtividade dos tratamentos em kg/ha ..... | 24 |
| Gráfico 2 – Precipitação .....                           | 25 |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....                                       | <b>5</b>  |
| <b>2 JUSTIFICATIVA</b> .....                                    | <b>7</b>  |
| <b>3 OBJETIVOS</b> .....  | <b>8</b>  |
| 3.1 OBJETIVO GERAL .....  | 8         |
| 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                 | 8         |
| <b>4 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....                            | <b>9</b>  |
| 4.1 CULTURA DA SOJA .....                                       | 9         |
| 4.2 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO .....                       | 9         |
| 4.3 INOCULAÇÃO DA SOJA COM <i>Bradyrhizobium spp</i> .....      | 11        |
| 4.4 INOCULAÇÃO DA SOJA COM <i>Azospirillum brasilense</i> ..... | 12        |
| 4.5 CO-INOCULAÇÃO EM SOJA .....                                 | 13        |
| 4.6 <i>Pseudomonas fluorescens</i> .....                        | 14        |
| 4.7 MICRONUTRIENTES VIA SEMENTES .....                          | 14        |
| 4.7.1 MOLIBDÊNIO (Mo) .....                                     | 15        |
| 4.7.2 COBALTO (Co) .....  | 15        |
| 4.8 INOCULAÇÃO EM SULCO DE SEMEADURA .....                      | 16        |
| <b>5 METODOLOGIA</b> .....                                      | <b>18</b> |
| 5.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL ...       | 18        |
| 5.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....                             | 18        |
| 5.2.3 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO A CAMPO .....       | 19        |
| 5.3 AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL .....                                | 21        |
| 5.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....                                   | 23        |
| <b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....                          | <b>24</b> |
| <b>7 CONCLUSÃO</b> .....  | <b>29</b> |

|                            |           |
|----------------------------|-----------|
| <b>8 REFERÊNCIAS .....</b> | <b>30</b> |
|----------------------------|-----------|

## 1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das mais importantes *commodities* na economia mundial. Seus grãos são destinados a agroindústria, na produção de óleo vegetal e rações para animais, além da indústria química e alimentícia. Mais recentemente, vem sendo empregada na produção de biocombustíveis (COSTA NETO, ROSSI, 2000).

A cultura da soja foi a que mais cresceu nos últimos anos (expandindo 501,6% quando comparada a safra de 1989/90 com a safra de 2019/20), com a produção superando a marca de 337 milhões de toneladas de grãos no planeta. O Brasil se destacou sendo o maior produtor mundial, com mais de 124 milhões de toneladas produzidas, correspondendo a 37% da produção mundial, e o estado que mais produziu na safra 2020/2021 foi o Mato Grosso (29%), seguido do Paraná (17%) e Goiás (11%) (EMBRAPA 2021).

Por possuir elevados índices de proteína nos grãos a soja demanda de altas quantidades de N, a qual, de acordo com EMBRAPA (2021), chega à casa dos 80 quilos por tonelada de grãos produzida. A grande quantidade de nitrogênio utilizado pela soja é decorrente da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), obtido da atmosfera através de uma associação simbiótica com as bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, formando estruturas nas raízes das plantas denominadas de nódulos, local onde ocorre o processo de FBN (HUNGRIA, CAMPO, MENDES, 2001).

Para acelerar ou elevar a probabilidade de que a simbiose aconteça, é necessário realizar a inoculação de *Bradyrhizobium* durante a semeadura, a qual pode ser realizada via tratamento de semente ou jato direcionado no sulco de semeadura. Contudo, a inoculação em conjunto com os tratamentos de semente que usam fungicidas, inseticidas e micronutrientes podem ocasionar toxidez as bactérias (VIEIRA NETO, 2008).

Além de *Bradyrhizobium* as bactérias do gênero *Azospirillum* vem sendo utilizadas na cultura da soja e trazem muitos benefícios as plantas, sendo que esses microrganismos são capazes de promover o crescimento das culturas através da produção de hormônios e, ainda, possuem capacidade de solubilizar fósforo, induzir resistência à doenças e estresses ambientais (BRACCINI et al., 2014).

O uso conjunto dessas duas bactérias pode ser uma alternativa para melhorar os processos fisiológicos da cultura e promover ganhos de produtividade. Segundo

Ferlini (2006), essa técnica se chama coinoculação ou inoculação mista, que pode apresentar efeito sinérgico e elevar a produtividade em relação a utilização de forma isolada.

Não obstante, a fixação biológica de nitrogênio pode ser afetada quando ocorrer a deficiência de molibdênio (Mo), sendo que esse micronutriente faz parte da enzima nitrogenase, que atua no processo de FBN (GOLO et al., 2009). O molibdênio também atua na formação das enzimas responsáveis pelo transporte de elétrons das reações de formação das enzimas nitrogenase, oxidase de sulfato e redutase de nitrito (GUERRA et al., 2006).

Além do molibdênio, o cobalto (Co) também exerce influência na FBN, pois, auxilia na estrutura da vitamina B12, indispensável para a síntese de leg-hemoglobina, que determina a atividade dos nódulos. Esse micronutriente também é responsável pela ativação enzimática das desidratases, mutases, fosforilases e transferases, sendo essencial para a FBN (GERRA et al., 2006).

Outra bactéria que tem potencial de uso na cultura da soja é a *Pseudomonas fluorescens*, pois, melhora a absorção de nutrientes e pode apresentar ação de biocontrole à patógenos (GANESHAN; KUMAR; 2005). A *P. fluorescens* encontram-se na rizosfera e conseguem solubilizar fosfatos insolúveis e, ainda, promovem o desenvolvimento das plantas devido a produção de hormônios e vitaminas, indução de resistência de plantas contra patógenos e redução da microbiota prejudicial ao desenvolvimento das plantas (NAIK et al., 2008).

Nesse contexto, é de interesse avaliar a coinoculação associada a *Pseudomonas fluorescens*, bem como o uso dos micronutrientes Co e Mo na cultura da soja, aplicados via jato direcionado no sulco.

## 2 JUSTIFICATIVA

A produção da soja no Brasil está avançando no processo de produção sustentável, com o uso e aprimoramento do manejo integrado de pragas, doenças e plantas daninhas, bem como o uso racional de agroquímicos. Nesse sentido, os insumos biológicos vêm sendo muito explorados no controle de pragas, doenças, fixação biológica de nitrogênio e solubilização de nutrientes.

A fixação biológica de nitrogênio é um dos exemplos de grande sucesso na cultura da soja, pois reduz a entrada externa de fertilizantes nitrogenados, contribuindo para diminuir os impactos ambientais, sendo de baixo custo, alta eficiência e sustentável.

No entanto, por mais que esteja consolidado o potencial da coinoculação, o uso conjunto com *P. fluorescens* e os micronutrientes Co e Mo em aplicação no sulco é algo recente e demanda informações que validem essa tecnologia agrícola, fatores que justificam esse trabalho.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

- Avaliar o efeito do uso conjunto dos microrganismos *Bradyrhizobium japonicum*, *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* associados a micronutrientes Co e Mo, aplicados no sulco de semeadura na produtividade da soja.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a ação dos tratamentos quanto a nodulação e promoção de crescimento das plantas.

- Determinar a interferência dos tratamentos nos macronutrientes no decorrer da cultura através da análise de seiva foliar.

- Determinar o efeito da associação das bactérias e micronutrientes sobre a produtividade da soja.



## **4 REVISÃO DE LITERATURA**

### **4.1 Cultura da soja**

A soja representa uma das commodities mais importantes do mundo. Seus grãos são destinados a vários fins, como a produção de ração animal, biocombustível, óleo vegetal, farinhas, entre outros. Seu cultivo, processamento e comercialização, geram milhares de empregos e renda (CONAB, 2019).

Essa cultura é a principal fonte de proteína bruta do país, sendo que, nas últimas décadas, vem apresentando um enorme crescimento, o qual não se deve apenas ao aumento das áreas semeadas, mas também pelas técnicas e manejos corretos adotadas, que possibilitaram o aumento da produtividade (FREITAS, 2011).

Com o crescimento da cultura em todo o país, bem como o aumento da tecnologia aplicada na soja, o Brasil se transformou no maior produtor do cereal do mundo, chegando a produzir na última safra 135.409 milhões de toneladas, semeadas em uma área de 38.502 milhões de hectares, com produtividade média de 3517 kg/ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2021). Em conjunto, estima-se que a área semeada da cultura atingirá 46,6 milhões de hectares, e a produção projetada para a safra 2029/2030 é de 156,5 milhões de toneladas, 30,1% a mais em relação a 2019/2020 (MAPA, 2020).

### **4.2 Fixação biológica de nitrogênio**

O nitrogênio é o nutriente mais exigido pela cultura da soja e, aproximadamente, 80 kg são necessários para produzir uma tonelada de grãos, dos quais, cerca de 60 kg são exportados com os grãos, e os outros 20 kg ficam no sistema de produção (Dall’Agnol, Nogueira, 2021).

O nutriente está presente em todas as fases de desenvolvimento da cultura, desde o crescimento vegetativo até o enchimento dos grãos, sendo responsável pelo crescimento da planta. Na fotossíntese, é parte constituinte da clorofila, vitaminas, carboidratos e proteínas, é responsável pela coloração verde-escura das folhas e atua no desenvolvimento do sistema radicular (Citação).

O Nitrogênio é absorvido do solo nas formas de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), porém, a grande demanda da planta é suprida pelo nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) presente na atmosfera, através da simbiose com as bactérias *Bradyrhizobium*, presentes nas raízes da soja (Dall'Agnol, Nogueira, 2021).

Segundo HUNGRIA; CAMPO; MENDES (2007):

A cultura da soja seria inviabilizada economicamente se os produtores tivessem que aplicar todo o nitrogênio necessário para suprir as demandas da planta. Contudo, bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, que se associam ao sistema radicular da soja, estabelecem uma importante simbiose fornecendo todo o nitrogênio que a planta necessita.

As bactérias que fixam o  $\text{N}_2$  possuem uma enzima denominada dinitrogenase, que rompe a tripla ligação do  $\text{N}_2$  e faz a redução até amônia ( $\text{NH}_3$ ). Esse processo realizado pelas bactérias é o mesmo realizado no processo industrial. Esses microrganismos formam estruturas nas raízes denominadas de nódulos, onde ocorre a fixação biológica de nitrogênio. Com a amônia nos nódulos ocorre a incorporação com íons de hidrogênio ( $\text{H}^+$ ), formando os íons amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), que serão distribuídos pela planta como N orgânico, designados a amidas, aminoácidos e ureídos (HUNGRIA et al, 2001).

Na cultura da soja há duas espécies que se associam de forma simbiótica com a planta, o *Bradyrhizobium japonicum* e o *Bradyrhizobium elkanii*, através de um processo complexo, onde ocorre a formação dos nódulos radiculares.

Com a semente em germinação, as raízes disponibilizam no solo moléculas químicas que atraem as bactérias. Deste modo, esses microrganismos penetram nas raízes da planta e desencadeiam o crescimento de células específicas das raízes, resultando em nódulos, que em plena atividade de fixação, apresentam coloração interna rosácea (HUNGRIA, CAMPO, MENDES, 2001).

Figura 1. Nódulos com coloração interna rosácea, devido a atividade da leg-hemoglobina cuja função é o transporte de oxigênio (O<sub>2</sub>), funcionando como barreira de difusão do O<sub>2</sub> nos nódulos e evitando que ocorra a inibição da atividade do complexo da enzima Nitrogenase, inibido por O<sub>2</sub>, essencial à sobrevivência desse microrganismo (SOUZA, et al, 2009)



Fonte: Sergio Mazaro (2021)

Conforme afirmado por Hungria et al. (2007), “após as duas primeiras semanas, as etapas de nodulação e de fixação do N<sub>2</sub> são intensificadas até o período de formação e de início do enchimento das vagens”.

Em condições de campo, existem dois fatores primordiais que limitam a fixação biológica de nitrogênio, os fatores relacionados ao ambiente e os fatores nutricionais. Os fatores ambientais limitantes, são o estresse hídrico e as temperaturas elevadas, sendo de extrema importância para a fixação biológica de nitrogênio o sistema de plantio direto, pois a palhada diminui as temperaturas do solo e mantém umidade por mais tempo (HUNGRIA, CAMPO, MENDES, 2007).

Já os fatores nutricionais, são fundamentais para o sucesso da fixação biológica de nitrogênio, pois as leguminosas que fixam N<sub>2</sub> são mais exigentes em sua nutrição e atendem também a demanda dos microrganismos e do sistema simbiótico. Além disso, o pH do solo deve estar aproximadamente em 6 para ter sucesso com a fixação biológica de nitrogênio (HUNGRIA, CAMPO, MENDES, 2007).

#### 4.3 Inoculação da soja com *Bradyrhizobium spp*

O objetivo principal da inoculação da semente de soja com *Bradyrhizobium spp* é acelerar ou elevar a probabilidade de que a simbiose aconteça entre microrganismos e plantas. Estudos relatam que a fixação biológica chega a disponibilizar 300 kg/ha<sup>-1</sup> a cultura e ainda libera para a cultura seguinte de 20-30 kg/ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (HUNGRIA et al, 2007).

Essas bactérias são gram negativas, subpolares ou polares, e possuem formato de bastonete, se movimentam através de flagelos, o crescimento é lento e o tempo de geração dura entorno de 7 a 13 horas (WILLIEMS, 2006).

A inoculação geralmente é efetuada diretamente nas sementes do cereal, mas pode ser realizado em sulco de semeadura, aumentando a dose 2,5 vezes as da semente, assim evitando o contato com os produtos do tratamento de semente (HUNGRIA, NOGUEIRA, ARAUJO, 2011).

Os inoculantes comerciais de *Bradyrhizobium* mais encontrados no país são a base das espécies *B. japonicum* e *B. elkanii*, e pertencem as estirpes SEMIA 5079, SEMIA 5080, SEMIA 587 e SEMIA 5019 (LEMOS et. al., 2007).

O Brasil é referência mundial na aplicação de benéficos da FBN pela utilização de *Bradyrhizobium* na cultura da soja. De acordo com Hungria et al. (2007), os pesquisadores buscam estirpes mais eficazes que possibilitem fixar teores maiores de N<sub>2</sub>, devido as novas cultivares de soja serem mais produtivas e, conseqüentemente, mais exigentes na nutrição.

Para a escolha da cepa devem considerar diversos fatores, como a capacidade de concorrer com a fauna do solo, a eficácia com as mais diversas cultivares, a fermentação na indústria e a adaptação aos diferentes tipos de solos, sem trazer prejuízos aos microrganismos nativos (HUNGRIA et al., 2007).

#### **4.4 Inoculação da soja com *Azospirillum brasilense***

As bactérias do gênero *Azospirillum* ganharam destaque mundial depois da década de 1970, com sua descoberta pela pesquisadora da Embrapa, Dra. Johanna Dobereneirer (1924-2000), pela capacidade de fixar biologicamente o nitrogênio quando associado às gramíneas (HUNGRIA, 2011). Além disso, os *Azospirillum* estão incluídos no grupo das bactérias associativas promotoras de crescimento vegetal (BPCP).

O *Azospirillum* elabora fitohormônios, que impulsiona o crescimento das raízes de algumas espécies de plantas através do ácido indol-acético (AIA), citocininas e giberilinas e, ainda, melhoram os parâmetros fotossintéticos das folhas, aumentando os teores de clorofila, condução estomática, do potencial hídrico, da produção de biomassa e da altura das plantas (HUNGRIA, 2011).

Segundo Okon e Vanderleyden (1997), quando essa bactéria é empregada na cultura do milho, ela modifica a morfologia do sistema radicular, expandindo o diâmetro das raízes laterais e adventícias. Desta forma, resulta em maior exploração do solo e contribui para o aumento da produtividade da cultura.

Esses microrganismos são promotores de crescimento de plantas, aumentam o sistema radicular e o volume de solo explorado pela planta e, portanto, influenciam na nodulação da soja e na melhor eficiência de absorção de nutrientes (HUNGRIA, 2011). Se o efeito da *A. brasiliense* for alcançado na cultura da soja igual ao atingido na cultura do milho, espera-se maiores contribuições do nitrogênio da fixação biológica de nitrogênio (FBN) com as bactérias *Bradyrhizobium*, logo, maiores produtividades da cultura.

Nos últimos anos em várias regiões do Brasil, a soja perdeu produção devido ao déficit hídrico. Deste modo, segundo Bulegon et al. (2019), o *A. brasiliense* auxilia a cultura da soja a tolerar a seca, amenizando os efeitos sobre as trocas gasosas e no aumento da produção do cereal.

#### **4.5 Co-inoculação em soja**

A co-inoculação é a técnica de inocular *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* na semente da soja com o objetivo de potencializar o processo de fixação biológica de nitrogênio e buscar o aumento da nodulação da planta, através do crescimento radicular.

O *Azospirillum* difere do *Bradyrhizobium* por produzir hormônios que promovem o crescimento da planta, principalmente o do sistema radicular e, portanto, beneficia a fixação biológica de nitrogênio pelo aumento da nodulação, pois as raízes exploram um volume de solo maior. Com essa técnica, as plantas de soja apresentam mais nódulos precocemente, e podem alavancar em até 16% de ganho médio a produtividade (CHIBEBA et al., 2015).

Segundo Schneider et al. (2017), o uso da co-inoculação na cultura da soja concede um aumento de até 13,3% quando comparada a soja não inoculada. Mas para a co-inoculação ser viável, proporcionar aumento no rendimento da cultura e gerar a sustentabilidade do sistema de produção, devemos levar em consideração as boas práticas de inoculação, para que as bactérias sobrevivam e concebam o rendimento esperado (PRANDO, et al, 2019).

#### **4.6 *Pseudomonas fluorescens***

As bactérias *Pseudomonas fluorescens* são gram-negativas, possuem forma de bastonete, se locomovem através de flagelos polares e pertencem ao grupo das bactérias associativas promotoras de crescimento vegetal (BPCP). São microrganismos não patogênicos, que colonizam as plantas e estão sendo aplicados na agricultura, principalmente para o biocontrole de patógenos (GANESHAN, KUMAR, 2007).

Estes microrganismos do solo dispõem da capacidade de solubilizar fosfatos minerais insolúveis (MSF), promovem o desenvolvimento de plantas devido a sua produção de hormônios e vitaminas, indução de resistência contra patógenos e redução da microbiota prejudicial ao desenvolvimento das plantas. Assim, são cada vez mais utilizados como bioinoculantes na agricultura (NAIK et al., 2008).

#### **4.7 Micronutrientes via sementes**

De acordo com Hungria, Campo e Mendes (2007), os macros e micronutrientes devem estar nos níveis ideais para garantir o sucesso da cultura e da FBN, sendo que: o fósforo atua na formação e funcionamento dos nódulos; o potássio atua no transporte de ureídeos e na forma de alantoato de potássio; o enxofre atua como ativador enzimático e coenzimático; o cálcio atua no crescimento radicular e na sinalização química, promotora da simbiose; o magnésio atua na molécula da clorofila, sendo que as bactérias necessitam de fotoassimilados; o molibdênio atua como componente da enzima nitrogenase; e o cobalto, atua como componente estrutural da coenzima cobamida, que é precursora da leghemoglobina.

Com o aumento da produtividade da soja nos últimos anos e com expectativa de elevar ainda mais essas produtividades, os produtores estão utilizando micronutrientes, como cobalto e o molibdênio, por influenciar na fixação biológica de nitrogênio (CERETTA et al., 2005).

A co-inoculação entrega muitos benefícios para a fixação biológica de nitrogênio, no entanto, com a deficiência de molibdênio (Mo), que faz parte da molécula da enzima nitrogenase, a fixação pode ser afetada (MARCONDES, CAIRES, 2005).

Assim como o molibdênio (Mo), o cobalto (Co) tem grande influência na fixação biológica de nitrogênio (FBN), visto que, auxilia na síntese de cobamida e da leg-hemoglobina, determinando a atividade dos nódulos (SFREDO, OLIVEIRA, 2010).

De acordo com Hungria et al. (2007), observaram problemas na aplicação de molibdênio e cobalto nas sementes da soja. A aplicação de formulações salinas ou com pH baixo pode afetar a sobrevivência das bactérias e, conseqüentemente, a nodulação e a fixação biológica de nitrogênio. Uma alternativa a esse entrave, é a aplicação de micronutrientes via aplicação foliar ou, escolher produtos que tenham alta qualidade para aplicação via semente.

#### **4.7.1 Molibdênio (Mo)**

A fixação biológica de nitrogênio pode ser comprometida se ocorrer deficiência desse elemento no solo. De acordo com Silveira et al. (2021), o molibdênio é um micronutriente essencial na nutrição da soja, atuando como cofator enzimático da enzima nitrogenase, que catalisa e diminui o  $N_2$  obtido da atmosfera a uma forma combinada, a amônia ( $NH_3$ ), que poderá ser utilizada pela planta. Brandelero, Peixoto e Ralisch (2009), salientam em seus trabalhos que mais de 40% da produtividade da soja está ligada com o processo de nodulação, demonstrando assim, a importância desse micronutriente para a cultura.

O molibdênio é absorvido pela planta nos primeiros 45 dias (SILVEIRA et al., 2021). As exigências pelas plantas são pequenas, necessitando de 12 a 30 gramas por hectare, portanto, a aplicação via sementes é a forma mais prática e eficaz desta adubação, suprimindo toda a necessidade da soja (GUPTA, LIPSETT 1981; UREN, REISENAUER, 1988).

As deficiências nutricionais do molibdênio ficam explícitas nas plantas, causando sintomas de amarelecimentos e folhas jovens retorcidas, com manchas necróticas nas margens dos pecíolos (SFREDO, OLIVEIRA, 2010).

#### **4.7.2 Cobalto (Co)**

O cobalto é um micronutriente indispensável na cultura da soja pela sua atuação na FBN. Segundo Mengel e Kirkby (2001), o cobalto auxilia na absorção de nitrogênio pela simbiose e atua na estrutura das vitaminas B12, que são fundamentais para sintetizar a cobamida e a leghemoglobina, apontando a ação dos nódulos e impedindo a inativação da enzima nitrogenase.

A deficiência desse elemento na soja ocasiona deficiência de nitrogênio, pois não permite fixar grandes teores de N<sub>2</sub>. Dentre os sintomas destacam-se a clorose total e, posteriormente, necrose em folhas mais velhas pela falta de nitrogênio (SFREDO, OLIVEIRA, 2010).

Segundo a Embrapa Soja (2003), as principais fontes desse elemento utilizadas são o cloreto, o nitrato de cobalto e o sulfato. No Paraná devido a fertilidade dos solos, recomenda-se aplicação de 2 a 3 gramas ha<sup>-1</sup> de cobalto via semente.

Em casos de excesso desse micronutriente ocasiona a diminuição da absorção do ferro (Fe) pela planta, causando toxicidade a soja e seus sintomas são semelhantes aos de deficiência por ferro, com atrofiamento das plantas e com folhas cloróticas no terço superior (SFREDO, OLIVEIRA, 2010).

#### **4.8 Inoculação em sulco de semeadura**

A inoculação no sulco de semeadura é realizada por equipamentos acoplados na semeadora, que pulveriza a calda com inoculantes e micronutrientes sobre o sulco, antes de seu cobrimento/fechamento pelas rodas compactadoras (ZHANG, SMITH, 1996). Esse método de inoculação surgiu como estratégia para proporcionar um processo de inoculação compatível com o uso de fungicidas (HUNGRIA et al., 2007), sendo tecnicamente proposto pela Embrapa (2008).

A aplicação de inoculantes no sulco é indicada para condições adversas de semeadura, como solos secos, quentes, e com sementes tratadas com produtos nocivos as bactérias inoculadas (RAMOS, RIBEIRO, 1993).

Segundo Voss (2002), ao diluir os inoculantes na água dos tanques de inoculação, ocorre melhora na distribuição das bactérias na semente e no solo, sendo aplicados afastados da superfície, onde ocorre menor variação de umidade e temperatura, ficando melhor posicionado para infectar o sistema radicular da cultura.



Em sua pesquisa, Lobo (2010) esclarece que a aplicação via sulco é uma técnica viável em razão da obtenção dos resultados serem semelhantes a aplicação via semente.

A indicação para o uso de inoculantes direcionados no sulco é de no mínimo 30 L/ha (GRUPO CULTIVAR, 2015). Para garantir um melhor desempenho dos equipamentos recomenda-se utilizar apenas inoculantes líquidos, pois os que contêm pó são mais densos e favorecem a decantação da calda, ocasionando a sedimentação do sistema hidráulico, ocorrendo travamento e superaquecimento da bomba. Os tanques inoculadores realizam a agitação da calda e o desligamento automático da pulverização nas manobras e paradas da máquina.

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na safra agrícola 2021/2022, na propriedade do Senhor Jamir Grassi, no município de Cruzeiro do Iguaçu, região Sudoeste do Paraná. A microrregião pertence ao 3º planalto paranaense, com altitude de 470 metros acima do nível do mar (planalto com altitude), entre as coordenadas geográficas 25° 37' 28" Sul e 53° 8' 33" Oeste. O clima de acordo com a classificação climática da Koeppen que ocorre no município é do tipo climático Cfa (subtropical úmido). O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho, de textura argilosa (EMBRAPA, 2006).

O trabalho foi instalado em condições de campo, em lavoura de cultivo de culturas anuais a mais de 10 anos sob sistema de plantio direto, dispondo de boa fertilidade. A cultura antecessora a soja era a de trigo na safra 2021.

### 5.2 Delineamento experimental

Os ensaios foram conduzidos em delineamento experimental inteiramente casualizados, com cinco tratamentos e quatro repetições. Ao total foram 20 parcelas experimentais, cada uma com 24 linhas de semeadura de 62,5 metros, espaçadas em 0,45 metros.

Os tratamentos testados no ensaio foram:

- 1- Testemunha absoluta (sem inoculação);
- 2- Coinoculação + *P. fluorescens*;
- 3- Coinoculação + *P. fluorescens* + Cobalto e Molibdênio;
- 4- Coinoculação (*B. japonicum* + *A. brasilense*);
- 5- Coinoculação + Cobalto e Molibdênio.

Para isto, utilizou-se inoculantes comerciais a base de *Bradyrhizobium Japonicum* SEMIA 5079 e 5080; inoculante *Azospirillum brasilense* cepas Ab-V5 e Ab-V6; *Pseudomonas fluorescens* – cepa BR 14810. E micronutrientes cobalto e molibdênio, todos os produtos conforme recomendação dos fabricantes.

### 5.2.3 Implantação e condução do experimento a campo

A semeadura dos ensaios foi realizada no dia 13 de outubro de 2021. A cultivar utilizada foi a Brasmax Zeus IPRO, que possui grupo de maturação 5.5, hábito de crescimento indeterminado, alta exigência a fertilidade, peso de mil sementes 209 gramas e índice de ramificação médio.

As sementes continham tratamento Industrial (TSI) com um fungicida de contato e sistêmico dos grupos Benzimidazol e Dimetilditiocarbamato (Derosal Plus – Bayer), e inseticida sistêmico do grupo químico dos neonicotinoídeos (Imidacloprido) + inseticida de contato e ingestão do grupo químico metilcarbamato de oxima (Tiodicarbe) (Cropstar – Bayer).

A densidade de semeadura utilizada foi de 16 sementes por metro linear ou 333.333 sementes/hectare. Ficaram nascidas 11 plantas por metro linear, devido ao envelopamento das sementes que ocorreu pela alta umidade do solo e grande quantidade de palhada de trigo.

A adubação de base consistiu da formulação comercial 02-20-18 (N-P-K), na quantidade de 330 kg ha<sup>-1</sup>.

**Figura 2 – Verificação da densidade de semeadura**



Fonte: o autor (2021)

A coinoculação das bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, *Azospirillum* e *Pseudomonas*, bem como a adição dos micronutrientes foi realizada no tanque de inoculação da semeadora, de onde partem até o jato aplicado sobre o sulco de semeadura. A semeadora possui dois tanques de inoculação com capacidade de 500 litros (cada tanque com capacidade de 250 litros). O volume de pulverização da calda será de 41,33 l/ha. Com o tanque contendo uma quantidade de 20 litros de água, os inoculantes foram adicionados e homogeneizados por meio de agitadores.

Dosagem dos produtos comerciais: Nod AI (*Azospirillum brasilense*): 100 ml/ha<sup>-1</sup>; Phós Up (*Pseudomonas fluorescens*): 200 ml/ha<sup>-1</sup>; Grap CoMo raiz: 250 ml/ha<sup>-1</sup>; Brasilec (*Bradyrhizobium Japonicum*): 200 ml/ha<sup>-1</sup>.

**Figura 3 – Adição dos produtos no tanque de inoculação**



**Fonte: o autor (2021)**

A área de cada tratamento foi de aproximadamente 2500 m<sup>2</sup>. Cada tratamento resultou em duas passadas da semeadora, lado a lado. Após o término de cada tratamento, o tanque foi lavado por completo, com o sistema de pulverização, para que não ocorra interferência dos produtos de um tratamento ao outro.

Os tratos culturais, como controle de plantas daninhas, pragas e doenças seguiram as indicações técnicas do Engenheiro agrônomo responsável pela área total da lavoura do agricultor, sendo realizado a limpa com glifosato e cletodin, na dosagem do produto comercial de 3 L/ha<sup>-1</sup> e 0,7 L/ha<sup>-1</sup>, consequentemente.

Foi utilizado três aplicações de fungicida de sítios específicos, iniciando em V6 e subsequentes a cada 15-20 dias. O fungicida era a base de Bixafem, Protioconazol e Trifloxistrobina na dose de 0,5 L/ha<sup>-1</sup> do produto comercial.

Devido à forte pressão de tripes na cultura foi realizado quatro aplicações de inseticidas, a base de Beta-ciflutrina e Imidacloprido na dosagem do produto comercial de 0,5 L/ha<sup>-1</sup>.

Para não ocorrer diferença de esmagamento entre os tratamentos e interferir no resultado final, as aplicações foram feitas em sentido contrário as linhas de plantio, assim, ocorrendo danos iguais entre os ensaios.

### **5.3 Avaliação experimental**

Foram efetuadas avaliações em três momentos, sendo a primeira na fase fenológica R4 (legume completamente desenvolvido), onde foram avaliados o estado nutricional das plantas. Em R5.1 (enchimento de grão), foram avaliados a quantidade de nódulos radiculares, altura de parte aérea e comprimento radicular. E na maturidade de campo foi avaliado a produtividade de cada tratamento.

A análise de seiva ocorreu no estágio fenológico R4, analisando cinco plantas por repetição. Os teores de macros e micronutrientes presentes nas plantas foram determinados através da tecnologia Smart da Optionline Brasil, que trabalha com um espectrofotômetro e lê o espectro de luz absorvida pela amostra na faixa do infravermelho próximo com comprimento de onda entre 900 e 1700 nm.

Para realizar a análise, foram retiradas as folhas dos trifólios das cinco plantas, prezando pelas folhas do segundo e terceiro trifólio, as quais foram extraídas as seivas, com auxílio de uma prensa hidráulica, e acondicionada em eppendorf.

Com a seiva extraída nos recipientes, foram colocadas em uma centrífuga a 10000 rpm a 4°C, por cinco minutos. Após serem retirados 100 microlitros de sobrenadante (parte superior da solução) e colocado em outro eppendorf, foi completado com 900 microlitros de álcool 96%. Com o auxílio de uma pipeta, foram colocadas as soluções nas cubetas para realizar a leitura no equipamento.



**Figura 4 – Determinação dos teores de nutrientes**



Fonte: O autor (2021)

Para quantificação da nodulação foram arrancadas cinco plantas aleatórias por repetição, com o auxílio de uma pá de corte para evitar a quebra das raízes, retirados os excessos de solo e determinando a quantidade de nódulos por planta.

Para o tamanho das plantas foi considerado o tamanho da parte aérea e radicular, com medições a partir do colo da planta, com auxílio de régua graduada.

**Figura 5– Avaliação da quantidade de nódulos, altura de parte aérea e comprimento radicular**



Fonte: O autor (2021)

Na colheita foi analisado a variável produtividade, sendo a colheita realizada com colhedora, e pesagem dos grãos em bags com balança de campo. Cada parcela teve sua área calculada antes da colheita para a quantificação da produtividade em sacas e quilogramas por hectare. A colheita ocorreu no dia 14 de fevereiro.

**Figura 6 – Colheita dos ensaios**



Fonte: o autor (2022)

#### **5.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA**

Para análise e interpretação dos dados do experimento foi utilizado o software SASM-Agri. Foi realizada previamente uma verificação da homogeneidade dos dados e então realizada a análise de variância (ANOVA). No caso da existência de diferença significantes entre as médias, essas serão comparadas através do teste de Duncan com probabilidade de erro de 5%.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Encontra-se na tabela 1 o resumo da análise de variância para o número de nódulos por planta (NNOD), altura de parte aérea e comprimento radicular, avaliados no ano de 2022. Houve significância para todas as características analisadas.

**Tabela 1 – Avaliação da nodulação (NNOD-quantidade), altura de parte aérea (AP) e comprimento de raiz da soja (CR)**

| TRATAMENTOS     | NNOD        | AP (cm)     | CR (cm)     |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|
| 1               | 18,9 b      | 52,3 b      | 25,1 ab     |
| 2               | 22,4 b      | 51,6 b      | 24,6 ab     |
| 3               | 29,7 a      | 57,4 a      | 21,7 b      |
| 4               | 33,6 a      | 55,6 ab     | 24,7 ab     |
| 5               | 32,8 a      | 55,3 ab     | 26,1 a      |
| <b>MÉDIA</b>    | <b>27,5</b> | <b>54,4</b> | <b>24,4</b> |
| <b>CV (%)</b> : | 17,7        | 5,6         | 9,0         |

\* Médias seguidas de letras minúsculas diferem entre si nas colunas no teste de probabilidade de Duncan à 5%.

\* CV(%): Coeficiente de variação.

Fonte: O autor (2022)

Na tabela 2 encontra-se a análise de seiva da soja em mg/L, dos elementos que se encontram solubilizados na seiva e nos vacúolos celulares. Observa-se destaque positivo para o tratamento 5 (coincubação + cobalto e molibdênio). O mesmo se destacou nos teores de nitrogênio, potássio e proteínas dos demais ensaios. Levando em conta o contexto geral, do uso dos micronutrientes no sulco, houve diferenciação positiva dos demais que não foram utilizados.

**Tabela 2- Teores de nitrogênio, fósforo, potássio e proteínas da análise de seiva (mg/L)**

| TRATAMENTOS   | NITROGÊNIO    | FÓSFORO      | POTÁSSIO      | PROTEÍNAS      |
|---------------|---------------|--------------|---------------|----------------|
| 1             | 2293,6 b      | 518,4 a      | 3756,2 b      | 14335,5 b      |
| 2             | 2097,1 b      | 486,5 a      | 3594,0 b      | 13107,4 b      |
| 3             | 3691,8 ab     | 464,3 a      | 4320,8 ab     | 23075,3 ab     |
| 4             | 3553,7 ab     | 512,2 a      | 4221,2 ab     | 22211,1 ab     |
| 5             | 4988,4 a      | 497,1 a      | 4909,6 a      | 31178,2 a      |
| <b>MÉDIAS</b> | <b>3324,9</b> | <b>495,7</b> | <b>4160,4</b> | <b>20781,5</b> |
| <b>CV (%)</b> | 32            | 12,45        | 14,1          | 32,03          |

\* Médias seguidas de letras minúsculas diferem entre si nas colunas no teste de probabilidade de Duncan à 5%.

\* CV(%): Coeficiente de variação.

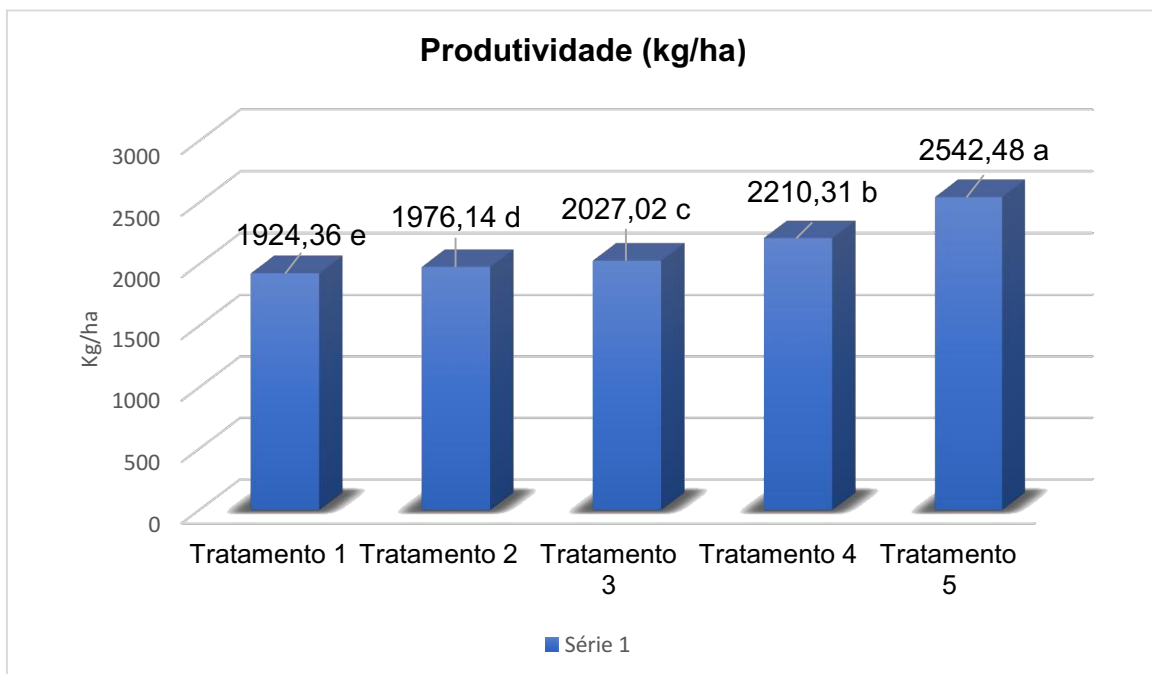
Fonte: O autor (2022)



Segundo as variáveis analisadas, buscando definir a eficiência da nodulação das plantas, observa-se por outros estudos que quanto maior o teor de nitrogênio, melhor será o desenvolvimento da soja e como resultado, maior produtividade. O nitrogênio é o elemento constituinte de proteínas, amidas, aminoácidos, ácidos nucleicos, coenzimas, nucleotídeos, entre outros, que estão relacionados com o crescimento vegetal (TAIZ et al., 2017).

No gráfico 1 são apresentados os valores médios de produtividade de grãos do cultivar Brasmax Zeus. O tratamento 1 que era a testemunha absoluta foi o que promoveu o menor rendimento ( $1924,36 \text{ kg/ha}^{-1}$ ). Já, o melhor, foi representado pelo tratamento 5, que constituía a coinoculação + Cobalto e Molibdênio com  $2542,48 \text{ kg/ha}$ .

**Gráfico 1 - Produtividade dos tratamentos em kg/ha**



**Fonte: o autor (2022)**

Em relação a produtividade de grãos, o tratamento 4 (coinoculação) obteve resultado de  $36,8 \text{ sacas/ha}^{-1}$ , ou seja,  $4,76 \text{ sacas/ha}$  ( $12,93\%$ ) a mais que a testemunha, a qual não foi inoculada. Já, o tratamento em que foi associado coinoculação ao cobalto e molibdênio, resultou na produtividade de  $42,37 \text{ sacas/ha}^{-1}$ , e elevou para  $10,3 \text{ sacas}$  ( $24,29\%$ ) a mais que a testemunha absoluta, e  $5,5 \text{ sacas}$  a mais que apenas a coinoculação.

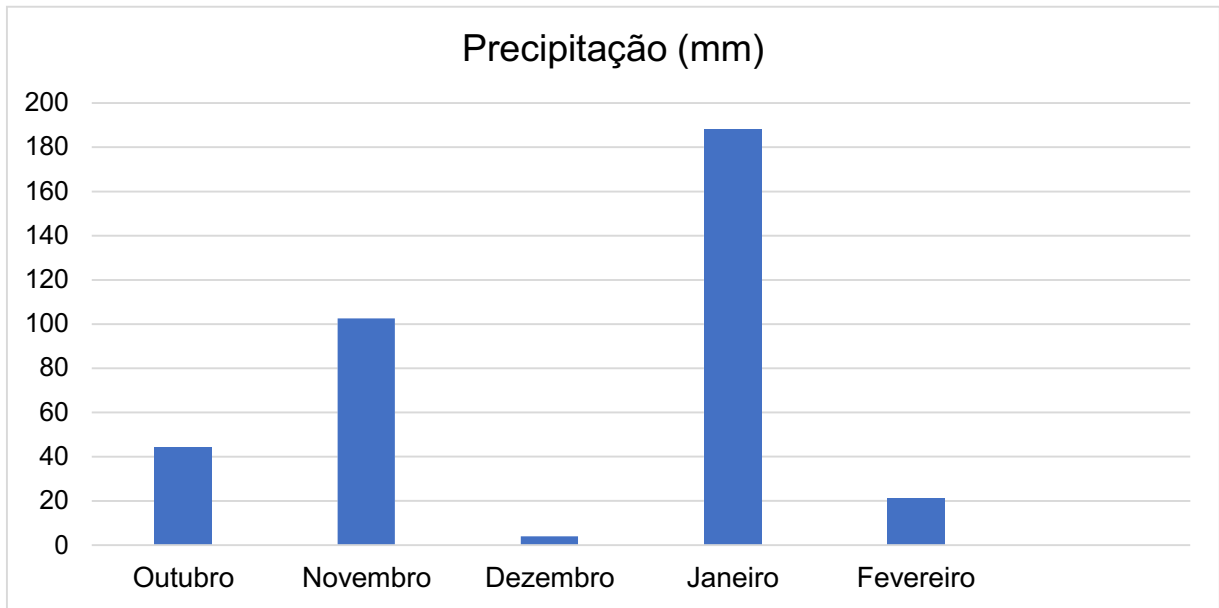
Os resultados demonstraram que o cobalto e o molibdênio associados a co inoculação resultou em maior comprimento radicular, grande quantidade de nódulos, maiores teores de nitrogênio presente na seiva e conseqüentemente maiores teores de proteínas. Assim, fica evidente que ocorreu maior ativação dos nódulos e maior fixação de nitrogênio pelas bactérias, pois o molibdênio atua como cofator enzimático da enzima nitrogenase que realiza a quebra da tripla ligação do nitrogênio atmosférico e o cobalto atua na estrutura da vitamina B12, que auxilia na síntese da leghemoglobina que efetua a ativação e fixação do nitrogênio nos nódulos. Portanto, maiores teores de nitrogênio fixado resultaram em maiores teores de proteína na planta, acarretando na melhor formação de grãos e maior produtividade da cultura da soja.

Assim, considerando a estimativa de produtividade para o estado do Paraná após atingir 96% da área colhida da safra 2021/22, segundo o Deral, foi de 2048 Kg/ha ou 34,1 sacas/ha. Observamos que os tratamentos 4 e 5 superaram a média de produtividade estadual e nesse sentido mostraram que seu uso é eficiente na cultura da soja.

Considerando o preço da saca da soja a R\$ 183,00, isso equivaleria um aumento de R\$ 1.884,90/ha<sup>-1</sup>, em relação ao tratamento testemunha, o que indica um enorme potencial de retorno do uso desta tecnologia, já que representa um custo normalmente menor que 1 sc ha<sup>-1</sup>. Cabe destacar que este resultado foi obtido em um ano com severa restrição hídrica ao longo do ciclo, o que pode ter influenciado os resultados.

Em condições de campo, existem dois fatores primordiais que limitam a fixação biológica de nitrogênio, os fatores relacionados ao ambiente e os fatores nutricionais. Os fatores ambientais limitantes, são o estresse hídrico e as temperaturas elevadas, sendo de extrema importância para a fixação biológica de nitrogênio o sistema de plantio direto, pois a palhada diminui as temperaturas do solo e mantém umidade por mais tempo (HUNGRIA, CAMPO, MENDES, 2007).

Gráfico 2 - Precipitação (dia 13 de outubro a 14 de fevereiro)



Fonte: o autor (2022)

Observamos que no decorrer do ciclo da cultura no município de Cruzeiro do Iguaçu – PR choveu 360,14 mm, quantidades insuficientes para alcançar elevadas produtividades, e com sérios déficits no mês de dezembro, fase em que a soja se encontrava em plena floração, definindo seu processo produtivo.

Segundo Zanon et al. (2018), a necessidade total de água na cultura da soja, para obtenção do máximo rendimento, varia entre 450 a 800 mm/ciclo, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do seu ciclo. Assim, também neste ano agrícola ocorreram perdas de produtividade da cultura da soja pelo baixo volume e distribuição irregular das chuvas.

Ainda assim, considerando um ano atípico, com severo déficit hídrico, necessita-se de mais estudos em diferentes condições climáticas e de manejo da cultura para que se possa recomendar o uso com segurança.

Deste modo, segundo Bulegon et al. (2019), o *A. brasiliense* auxilia a cultura da soja a tolerar a seca, amenizando os efeitos sobre as trocas gasosas e no aumento da produção da cultura.

Pesquisas conduzidas por Hungria et al. (2013), mencionaram que o tratamento com coinoculação resultou em um incremento médio de 7,1 sacas (16,1%). Prando et al. (2019), evidencia que a prática da inoculação pode proporcionar o incremento de até 8% na produtividade da soja, enquanto a coinoculação pode incrementar em mais 8% a produtividade, agregando assim, um ganho de produtividade de 16%.

Segundo Silveira (2021), a coinoculação proporcionou incrementos significativos na produtividade da soja nos dois anos agrícolas, sendo de 15% na safra 2019/2020 e, 38% na safra 2020-2021. A aplicação de micronutrientes também contribuiu para incrementos de produtividade da cultura da soja, com uma produtividade média superior de 7,5 sc ha<sup>-1</sup> em relação à testemunha.

Segundo Schneider et al. (2017), o uso da coinoculação na cultura da soja concede um aumento de até 13,3% quando comparada a soja não inoculada.

## 7 CONCLUSÃO

A coinoculação no sulco de semeadura proporcionou acréscimo de 12,93% na produtividade da soja. Todavia, a associação da coinoculação com cobalto e molibdênio, proporcionou aumento de 24,29 % na produtividade da cultura.

## 8 REFERÊNCIAS

- ADAPAR. Derosal Plus. 2020. Disponível em: [https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-10/derosalplus0720.pdf](https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2020-10/derosalplus0720.pdf). Acesso em: 20 de jul. de 2021.
- BRACCINI, A. L., MARIUCCI, G. E. G., SUZUKAWA, A. K., DA SILVA LIMA, L. H., PICCININ, G. G. **Co-inoculação e modos de aplicação de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada na nodulação das plantas e rendimento da cultura da soja**. Scientia Agraria Paranaensis, v. 15, n. 1, p. 27-35. 2016
- BRANDELERO, E. M., PEREIRA PEIXOTO, C., RALISCH, R. **Nodulação de cultivares de soja e seus efeitos no rendimento de grãos**. Semina: Ciências Agrárias, v. 30, n. 3, 2009.
- BULEGON, Lucas Guilherme et al. **Respostas da soja ao *Azospirillum brasilense* e reguladores vegetais em condições de déficit hídrico**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 14, n. 4, p. 1-10, 2019.
- CERETTA, C; PAVINATO, A; PAVINATO, P; MOREIRA, I; GIROTTO, E; TRENTIN, É. **Micronutrientes na soja: produtividade e análise econômica**. Ciência Rural, v.35, n.3, mai-jun, 2005.
- CHUNG, Gyuhwa; SINGH, Ram J. **Broadening the genetic base of soybean: a multidisciplinary approach**. Critical Reviews in Plant Sciences, v. 27, n. 5, p. 295-341, 2008.
- CHIBEBA, A. M.; GUIMARÃES, M. de F.; BRITO, O. R.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. **Co-inoculation of soybean with *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* promotes early nodulation**. American Journal of Plant Sciences, v. 6, p. 1641-1649, jun. 2015.
- CONAB. **Portal de Informações Agropecuárias**: observatório agrícola. Brasília-DF, 2019. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/>. Acesso em: 01 jul. 2021.
- COSTA NETO, P. R. & ROSSI, L. F. S. **Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em fritura**. Química Nova, v.23, p. 4, 2000.
- CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**. v.35, n.3, p.271-276, 2013.
- DALL'AGNOL e NOGUEIRA. **Entenda a importância do nitrogênio na nutrição da soja**. 08 de fevereiro de 2021. Disponível em: <https://blogs.canalrural.com.br/embrapasoja/2021/02/08/importancia-do-nitrogenio-na-nutricao-da-soja/>. Acesso em: 01/07/2021.

DELLAVALLE, C. Inoculação em Soja, uma ferramenta fundamental para maximizar a produtividade. Agrolink, 2015. Disponível em: [https://www.agrolink.com.br/colunistas/inoculacao-em-soja--uma-ferramenta-fundamental-para-maximizar-a-produtividade\\_387940.html](https://www.agrolink.com.br/colunistas/inoculacao-em-soja--uma-ferramenta-fundamental-para-maximizar-a-produtividade_387940.html). Acesso em: 10 de jul. de 2021.

EMBRAPA. Circular técnica nº 156. **Coinoculação da soja com Bradyrhizobium e Azospirillum na safra 2018/2019 no Paraná**. Londrina, PR, p. 8-9, novembro de 2019.

EMBRAPA. **HISTÓRIA DA SOJA**. LONDRINA-PR. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://WWW.EMBRAPA.BR/SOJA/CULTIVOS/SOJA1/HISTORIA](https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/historia). Acesso em 01/07/2021.

EMBRAPA. **Fixação Biológica do Nitrogênio**. Brasília-DF, 2013. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-fixacao-biologica-de-nitrogenio/nota-tecnica> Acesso em: 05 de jul. 2021.

EMBRAPA. **Soja em números (safra 2019/2020)**. Brasília-DF, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/web/portal/soja/cultivos/soja1/dados-economicos> . Acesso em: 05 de jul. 2021.

EMBRAPA. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na Região central do Brasil**. 2003/2004. Londrina: Embrapa Soja, 2003. 226p.

EMPRESA BRASIELIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja - região central do Brasil**. Londrina, Embrapa Soja/Embrapa Cerrados/Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 280p. (Sistema de Produção, 12).

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FERLINI, H. A. **Co-Inoculación en Soja (*Glycyne max*) con *Bradyrhizobium japonicum* y *Azospirillum brasilense***. Artículos Técnicos – Agricultura. 2006. Disponível em: [http://www.engormix.com/co\\_inoculacion\\_soja\\_glycyne\\_s\\_articulos\\_800\\_AGR.htm](http://www.engormix.com/co_inoculacion_soja_glycyne_s_articulos_800_AGR.htm)>Acesso em: 22 de jul. de 2021.

FILHO, C. **Inoculação em Soja, uma ferramenta fundamental para maximizar a produtividade**. 27 de outubro de 2015. Disponível em: [https://www.agrolink.com.br/colunistas/coluna/inoculacao-em-soja--uma-ferramenta-fundamental-para-maximizar-a-produtividade\\_387940.html](https://www.agrolink.com.br/colunistas/coluna/inoculacao-em-soja--uma-ferramenta-fundamental-para-maximizar-a-produtividade_387940.html). Acesso em: 23 de jul.de 2021.

FREITAS, M. **A Cultura da Soja no Brasil: O Crescimento da Produção Brasileira e o Surgimento de Uma Nova Fronteira Agrícola**. Goiânia-GO, 2011. Disponível em:<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2011a/agrarias/a%20cultura%20da%20soja.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2021.

Girija Ganeshan & A. Manoj Kumar (2005) ***Pseudomonas fluorescens*, a potential bacterial antagonist to control plant diseases**, Journal of Plant Interactions, 1:3, 123-134, DOI: 10.1080/17429140600907043

GUPTA, U. C. & LIPSETT, J. **Molybdenum in soil, plants and animals**. Adv. Agron., 34:73-115, 1981.

GOLO, André Luis et al. **Qualidade das sementes de soja com a aplicação de diferentes doses de molibdênio e cobalto**. Revista Brasileira de Sementes, v. 31, p. 40-49, 2009.

GUERRA, C.A.; MARCHETTI, M.E.; ROBAINA, A.D.; SOUZA, L.C.F.; GONÇALVES, M.C.; NOVELINO, J.O. (2006) **Qualidade fisiológica de sementes de soja em função da adubação com fósforo, molibdênio e cobalto**. Disponível em: <<http://ojs.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/1678/1043>>. Acessado em: 10 de jul. de 2021.

GUPTA, U. C. & LIPSETT, J. Molybdenum in soil, plants and animals. **Adv. Agron.**, 34:73-115, 1981.

HUNGRIA, M. **Inoculação com Azospirillum brasilense: inovação em rendimento a baixo custo**. Londrina – PR: Embrapa Soja, 2011.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina-PR: Embrapa Soja-Circular Técnica 13, 2001.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J. & MENDES, I.C. **A importância do processo de fixação biológica de nitrogênio para a cultura da soja: Componente essencial para a competitividade do produto brasileiro**. Londrina, Embrapa Soja, 2007. 80p.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. **Tecnologia De Coinoculação Rizóbios e Azospirillum em Soja e Feijoeiro**. Embrapa Soja. Folder, 02/2014.

HUNGRIA, M; NOGUEIRA, M.A; ARAUJO, R.S. **TECNOLOGIA DE COINOCULAÇÃO DA SOJA COM Bradyrhizobium E Azospirillum: INCREMENTOS NO RENDIMENTO COM SUSTENTABILIDADE E BAIXO CUSTO**. Londrina – PR: Embrapa Soja, 2011.

HUNGRIA, M. et al. Tecnologia de Coinoculação da Soja com Bradyrhizobium e Azospirillum: incrementos no rendimento com sustentabilidade e baixo custo. Resumos da XXXIII Reunião de Pesquisa de Soja da Região Central do Brasil. Londrina-PR, 2013.

Inoculação no sulco é um aliado na produtividade. **Grupo Cultivar**, 2015. Disponível em: <https://www.grupocultivar.com.br/noticias/inoculacao-no-sulco-e-um-aliado-na-productividade>. Acesso em: 10 de jul. de 2021.

LEMOS, E.G.M. et al. **XIII Reunião da Rede de Laboratórios para Recomendação, Padronização e Difusão de Tecnologia de Inoculantes Microbianos de Interesse Agrícola (RELARE)**. 2007.



LOBO, Robinson Francisco D; NOGUEIRA, Luiz Claudio **A. Aplicação de inoculante via sulco na cultura de soja**. Revista científica eletrônica de Ciências Aplicadas. Disponível em: [http://fait.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/IfLPcID-bwEe2gG7\\_2014-4-16-15-59-44.pdf](http://fait.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/IfLPcID-bwEe2gG7_2014-4-16-15-59-44.pdf). Acesso: 22 de jul. de 2021.

MAPA. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2019/20 a 2029/30: Projeções de Longo Prazo**. 11. ed. Brasília-DF: MAPA, 2020. Disponível em: [//www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/ao-completar-160-anos-ministerio-da-agricultura-preve-crescimento-de-27-na-producao-de-graos-do-pais-na-proxima-decada/ProjecoesdaAgronegocio2019\\_20202029\\_2030.pdf](http://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/ao-completar-160-anos-ministerio-da-agricultura-preve-crescimento-de-27-na-producao-de-graos-do-pais-na-proxima-decada/ProjecoesdaAgronegocio2019_20202029_2030.pdf). Acesso em 15 de jul. de 2021.

MAPA. **Safra de Grãos deve chegar a 262,13 milhões de toneladas**. Brasília-DF, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/agricultura-e-pecuaria/2021/06/safra-de-graos-deve-chegar-a-262-13-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 01 jul. 2021.

MARCONDES, J; CAIRES, E. **APLICAÇÃO DE MOLIBDÊNIO E COBALTO NA SEMENTE PARA CULTIVO DA SOJA**. Bragantia, Campinas, v.64, n.4, p.687-694, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/65Qc73rP795FwFN6Qn7mhDL/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 18 de jul. de 2021.

MELO, I; AZEVEDO, J. **Rizobactérias promotoras de crescimento de plantas: descrição e potencial de uso na agricultura**. Ecologia Microbiana. Jaguariúna – SP: EMBRAPA, cap.3, p. 2-3.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. Principles of plant nutrition. 5. ed. Dordrecht: Kluwer Academic publishers, 2001. 849 p.

NAIK, P.R.; RAMAN, G.; NARAYANAN, K.B.; SAKTHIVEL, N. **Assessment of genetic and functional diversity of phosphate solubilizing fluorescent pseudomonads isolated from rhizospheric soil**. BMC Microbiology 2008, 8:230. Disponível em <http://www.biomedcentral.com/1471-2180/8/230>. Acesso em: 18 de jul. de 2021.

OKON, Y.; VANDERLEYDEN, J. **Root-associated *Azospirillum* species can stimulate plants**, Applied and Environmental Microbiology, New York, v. 63, n. 7, p. 366-370, 1997.

PRANDO, André Mateus et al. **Coinoculação da soja com Bradyrhizobium e Azospirillum na safra 2018/2019 no Paraná**. Embrapa Soja, Circular Técnica, v. 156, p. 19, 2019.

PRANDO, A. M. et al. **COINOCULAÇÃO DA SOJA COM Bradyrhizobium E Azospirillum NA SAFRA 2018/2019 NO PARANÁ**. Embrapa, Circular Técnica, n. 156, 2019. Disponível em: < <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1117312/1/Circotec156.pdf> >, acesso em: 29/12/2021.

RAMOS, M.L.G. & RIBEIRO, W.Q. **Effect of fungicides on survival of Rhizobium on seeds and the nodulation of bean (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Plant Soil, 152:145-150, 1993.

SCHNEIDER, F; PANIZZON, L; SORDI, A; LAJÚS, C; CERICATO, A; KLEIN, C. **EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DA CULTURA DA SOJA (*Glycine max* (L.) Merrill) SUBMETIDA A COINOCULAÇÃO**. Curitiba, vol. 18, n°. 4, p. 72-79, out/Dez, 2017.

SFREDO, G; OLIVEIRA, M. **Soja Molibdênio e Cobalto**. Londrina, PR, p.14, 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/859439/1/Doc322online1.pdf> Acesso em: 18 de jul. de 2021.

SILVEIRA, Bruno Marcelo Dorneles. **Efeitos da inoculação e coinoculação associada a aplicação de micronutrientes na cultura da soja**. Cachoeira do Sul-RS, 2021. Disponível em: <https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/2084>. Acesso em: 22/05/2022.

SILVEIRA, P. G.; SILVA, E. A. R; NAKAO, A. H.; CARVALHO, J. B. de. **EFEITO DE DOSES DE COBALTO E MOLIBDÊNIO APLICADAS NO SULCO DE PLANTIO DA SOJA INOCULADA COM BRADYRHIZOBIUM**. UNIFUNEC CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR, [S. l.], v. 10, n. 12, p. 1–13, 2021. DOI: 10.24980/ucm.v10i12.4110. Disponível em: <https://seer.unifunec.edu.br/index.php/rfc/article/view/4110>. Acesso em: 19 jul. 2021.

SOUZA, R. C.; SANTOS, M. A.; HUNGRIA, M. **O PAPEL DAS NODULINAS NA FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO NITROGÊNIO NA CULTURA DE SOJA**. IN: EMBRAPA SOJA-ARTIGO EM ANAIS DE CONGRESSO (ALICE). IN: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA, 4., 2009, LONDRINA. RESUMOS... LONDRINA: EMBRAPA SOJA, 2009. P. 158-162.(EMBRAPA SOJA. DOCUMENTOS, 312). EDITADO POR ODILON FERREIRA SARAIVA, PAULA GERON SAIZ MELO., 2009. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://WWW.ALICE.CNPNTIA.EMBRAPA.BR/BITSTREAM/DOC/574921/1/ID29963.PDF](https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/574921/1/ID29963.pdf). ACESSO EM: 16 DE JUL. DE 2021.

TAIZ, L. et al. **FISIOLOGIA E DESENVOLVIMENTO VEGETAL**. Porto Alegre, ed. 6, 2017.

UREN, N. C.; REISENAUER, H. M., 1988. **The role of root exudates in nutrient acquisition**. Adv. Plant Nutr. 71, p. 469-477.

VIEIRA NETO, S. A. et al. **Formas de aplicação de inoculante e seus efeitos sobre a nodulação da soja**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, n. 2, p. 861-870, 2008.

VOSS, M. **Inoculação de rizóbio no sulco de semeadura para soja, em um campo nativo, no norte do Rio Grande do Sul**. Passo Fundo, Embrapa Trigo, 2002. 5p. html (Embrapa Trigo. Comunicado Técnico Online, 108). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p-co108.htm>, acessado em 22 de jul. de 2021.

WILLEMS, A. **The taxonomy of rhizobia: na overview**. Plant and Soil, v. 287, n.1, p.3-14, 2006.

ZHANG, F. & SMITH, D.L. **Inoculation of soybean (*Glycine max. (L.) Merr.*) with genistein-preincubated *Bradyrhizobium japonicum* or genistein directly applied into soil increases soybean protein and dry matter yield under short season conditions.** *Plant Soil*, 179:233-241, 1996.

ZANON, A. J.; SILVA, M. R., TAGLIAPIETRA, E.L.; CERA, J.C **Ecofisiologia da soja-Visando altas produtividades.** 1° ed. Santa Maria;, 2018. ISBN: 978-85- 54856-14-4. 136p.