

THOMÁS OEHNINGER RAMOS

USO DE AMINOÁCIDOS E NANO PARTÍCULAS DE PRATA E MICRO
PARTÍCULAS DE ZINCO NO TRATAMENTO DE SEMENTES EM SOJA

CASCVEL
PARANA- BRASIL
JULHO - 2024

THOMÁS OEHNINGER RAMOS

USO DE AMINOÁCIDOS E NANO PARTÍCULAS DE PRATA E MICRO
PARTÍCULAS DE ZINCO E PRATA NO TRATAMENTO DE SEMENTES EM SOJA

Tese apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, para obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos

Coorientadora: Dra. Luciene Kazue Tokura

CASCADEL

PARANÁ – BRASIL

JULHO – 2024

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

OEHNINGER RAMOS, THOMÁS

USO DE AMINOÁCIDOS E NANO PARTÍCULAS DE PRATA E MICRO PARTÍCULAS DE ZINCO E PRATA NO TRATAMENTO DE SEMENTES EM SOJA / THOMÁS OEHNINGER RAMOS; orientadora Reginaldo Ferreira Santos; coorientadora Luciene Kazue Tokura. -- Cascavel, 2024.

78 p.

Tese (Doutorado Campus de Cascavel) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2024.

1. Agricultura de precisão. 2. nanopartículas. 3. tratamento de sementes. 4. aminoácidos. I. Ferreira Santos, Reginaldo, orient. II. Kazue Tokura, Luciene, coorient. III. Título.

THOMAS OEHNINGER RAMOS

Uso de aminoácidos e micropartículas de zinco e nanopartículas de prata no tratamento de sementes de soja

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Biomassa e culturas energéticas, APROVADO pela seguinte banca examinadora:

Reginaldo Ferreira Santos

Orientador - Reginaldo Ferreira Santos
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Documento assinado digitalmente

gov.br

LUCIENE KAZUE TOKURA
Data: 16/09/2024 20:22:57-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Luciene Kazue Tokura
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Documento assinado digitalmente

gov.br

FABIANA GISELE DA SILVA PINTO
Data: 16/09/2024 07:34:25-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Fabiana Gisele da Silva Pinto
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Documento assinado digitalmente

gov.br

DOGLAS BASSEGIO
Data: 13/09/2024 11:56:51-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Douglas Bassegio
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Documento assinado digitalmente

gov.br

ALFREDO RICHART
Data: 13/09/2024 12:09:34-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Alfredo Richart
Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR)

Documento assinado digitalmente

gov.br

ANA PAULA MORAIS MOURAO SIMONETTI
Data: 16/09/2024 16:21:17-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Ana Paula Moraes Mourão Simonetti
Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz (FAG)

Cascavel, 22 de agosto de 2024

“Dedico este trabalho a minha esposa por todo apoio e carinho”.

A Deus pela sabedoria.

À minha família, cujo amor, carinho e incentivo são propulsores de todas as minhas conquistas. Serei eternamente grato por tudo.

Agradeço à minha esposa companheira, Edilaine Martins Peixoto Ramos, por todo o amor, paciência e carinho em mim dedicados durante toda a elaboração deste trabalho. Seu grande apoio e incentivo sempre me ajudou a seguir em frente, sem você nada disso teria sentido.

Agradeço ao meu orientador, Doutor Reginaldo Ferreira Santos, por todo o apoio, confiança e disponibilidade dedicados durante este trabalho.

Por fim, mas não menos importante, a todos que de alguma forma contribuíram para a elaboração deste trabalho, deixo meus mais sinceros agradecimentos.

Agradeço ao CNPq pelo apoio financeiro

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo Geral	4
2.2. Objetivos Específicos.....	4
3. CAPÍTULO I: AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO INICIAL DE SEMENTES DE SOJA TRATADAS COM DOSES DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA, MICROPARTÍCULAS DE ZINCO, PRATA E AMINOÁCIDOS	6
3.1. INTRODUÇÃO.....	8
3.2. REVISÃO DE LITERATURA.....	9
3.2.1. Uso de aminoácidos em tratamento de sementes	9
3.2.2. Uso de Nanopartículas de zinco e prata em tratamento de sementes	10
3.3. MATERIAL E MÉTODOS	12
3.3.1 Testes de Germinação	13
3.3.2 Determinação da atividade enzimática.....	16
3.3.3 Análise estatística.....	18
3.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
3.4.1 Avaliação de Germinação.....	18
Doses referente a mL por kg de semente tratada.....	20
3.4.2 Avaliação atividade Peroxidase e Proteína	23
Doses referente a mL por kg de semente tratada. Médias de tratamentos seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (1974) a 5% de probabilidade.....	24
3.5. CONCLUSÕES.....	25
3.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
4. CAPÍTULO II: USO DE MICROPARTÍCULAS DE ZINCO E NANOPARTÍCULAS DE PRATA ASSOCIADOS A AMINOÁCIDOS EM SEMENTES DE SOJA	31
4.1. INTRODUÇÃO.....	33
4.2. REVISÃO DE LITERATURA.....	35
4.2.1. Fertilizantes a base de aminoácidos	35
4.2.2. Uso de aminoácidos em tratamento de sementes	37
4.2.3. Fertilizantes nanoparticulados.....	38
4.2.4. Uso de Nanopartículas de zinco e prata em tratamento de sementes	40
4.3. MATERIAL E MÉTODOS.....	42
4.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.5. CONCLUSÕES.....	48

4.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
5. CAPÍTULO III: EFEITO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA E MICRO PARTÍCULAS ZINCO ISOLADOS E ASSOCIADOS A SUBDOSE DE AMINOÁCIDOS NO TRATAMENTO DE SEMENTES DE SOJA	54
5.1. INTRODUÇÃO	56
5.2. REVISÃO DE LITERATURA.....	57
5.2.1. Uso de aminoácidos em tratamento de sementes	57
5.2.2. Uso de Nanopartículas de zinco e prata em tratamento de sementes	59
5.3. MATERIAL E MÉTODOS.....	61
5.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
5.5. CONCLUSÕES.....	66
5.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
6. CONCLUSÕES GERAIS	73
ANEXOS	75
ANEXO 1 – ARTIGO 1	75
ANEXO 2 - ARTIGO 2	84

1. INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max (L.) Merrill*) tem uma importância destacada na economia nacional e global, sendo essencial na produção de óleo vegetal e proteína. Além de ser uma das principais culturas agrícolas em todo o mundo, ela oferece uma série de benefícios em sua longa cadeia produtiva que vão além do uso na alimentação humana e animal.

A produção de soja no Brasil, distribuída de norte a sul, desempenha um papel crucial para a economia agrícola do país, contribuindo para a permanência do homem no campo e proporcionando renda para milhões de agricultores e contribuindo significativamente para o produto interno bruto (PIB) brasileiro (CONAB,2024).

Neste sentido, o avanço e a pesquisa de novas soluções baseadas em biofertilizantes têm tomado atenção da sociedade, da academia e em especial de várias instituições de pesquisa pela condução de estudos, consequentemente têm-se observado um aumento no registro de novos produtos a base de biofertilizante, aumento na velocidade e taxa de sucesso no desenvolvimento de novos produtos e uma redução no tempo para lançamento de um bioagente no mercado, com menor custo, trazendo benefícios para toda a cadeia do Agronegócio. Desta forma, é essencial uma equipe interdisciplinar envolvida na pesquisa e desenvolvimento de novos produtos (EMBRAPA, 2022).

Dentro deste grande universo de soluções baseadas em biofertilizantes, os aminoácidos vêm ganhando por possuírem em sua base substâncias naturais e biodegradáveis que não poluem o ambiente. São compostos por moléculas orgânicas que funcionam como os blocos fundamentais das proteínas, moléculas vitais para todos os seres vivos, inclusive as plantas. Existem 20 aminoácidos principais presentes comumente nas proteínas, cada um com uma estrutura molecular única que determina suas funções e características. Cada tipo de aminoácido contém em sua estrutura um grupo amina e um grupo carboxílico ligados a um átomo central de carbono, juntamente com uma cadeia lateral específica que define sua estrutura e função (Cox, 2017).

No contexto de agricultura, os aminoácidos surgem como mais uma opção sustentável em comparação aos fertilizantes químicos comumente utilizados. O uso

desses compostos na agricultura contribui para a redução do impacto ambiental, incentivando práticas agrícolas mais sustentáveis e eficazes. Desta forma, os aminoácidos desempenham um papel vital ao atuarem como fertilizantes orgânicos e estimulantes do crescimento das plantas (Khan, 2020).

Estudos têm apontado para inúmeros benefícios do uso de aminoácidos na agricultura, tais como: melhora na absorção de nutrientes pelas plantas, estímulo do crescimento das raízes, aumento a resistência ao estresse biótico e abiótico, promoção a floração e frutificação, e até mesmo uma melhora na qualidade do produto. No que diz respeito à absorção de nutrientes, os aminoácidos atuam como quelantes, facilitando a absorção de elementos como nitrogênio, fósforo e potássio pelas raízes. Quanto ao desenvolvimento radicular, os aminoácidos favorecem o crescimento de um sistema radicular mais extenso e robusto, ampliando a capacidade da planta para absorver água e nutrientes (Colla, 2017; Garcia, 2019; Ertani, 2019; Kowalczyk, 2008). Neste sentido aminoácidos como a cisteína, tirosina, ácido glutâmico e glicina desempenham papéis importantes na formação e desenvolvimento do sistema radicular das plantas, melhorando a capacidade de absorção de água e nutrientes (Ferrari, 2019; Mackerness; 2018; Rougeau, 202; Lu, Y., 2022).

Uma pesquisa realizada por Al-Saadawi (2018) evidenciou que a aplicação de aminoácidos estimulou o crescimento das raízes em plantas de tomateiro, contribuindo para uma nutrição mais eficaz e uma maior produtividade. Quando se trata do aumento da tolerância ao estresse, os aminoácidos fortalecem as defesas naturais das plantas contra adversidades ambientais e contra agentes bióticos. Neste sentido a prolina tem o papel de destaque na eliminação de espécies reativas de oxigênio (ROS). Adicionalmente a prolina atua na regulação osmótica por manter as células túrgidas mesmo em condições de déficit hídrico ou salinidade (Buchanan,2015).

Um estudo revelou que o tratamento com aminoácidos incrementou a resistência das plantações de arroz às condições de seca, minimizando os impactos causados pela escassez hídrica (Zou, 2017). Quanto à fase de floração e frutificação, os aminoácidos contribuem para o desenvolvimento de flores e frutos mais saudáveis e abundantes, impulsionando assim a produção de frutas maiores e com melhor qualidade (Alvarez, 2014).

Os trabalhos conduzidos por Sánchez-Romero (2019) concluíram que o uso de aminoácidos em videiras resultou em um aumento na colheita de uvas, o que levou a

uma melhoria no tamanho e na qualidade das frutas. No que diz respeito à produção de biomassa, a aplicação de aminoácidos ajuda a aumentar a massa vegetal, promovendo o crescimento das partes aéreas como folhas, caules e flores.

Um estudo realizado por Liu (2015) mostrou que o uso de aminoácidos resultou em um aumento da biomassa em plantas de soja, contribuindo para uma maior produção de grãos. Além disso, alguns aminoácidos têm propriedades antimicrobianas e podem reforçar a resistência natural das plantas contra doenças e pragas, diminuindo assim o uso de agroquímicos. Aminoácidos como a cisteína, fenilalanina, hidroxiprolina e o triptofano podem atuar de maneira direta ou indireta no sistema de defesa vegetal. A Hidroxiprolina fortalece a parede celular e auxilia a planta a reforçar a parede celular em resposta a ataque de fungos patogênicos. No caso do triptofano, este contribui de forma indireta sendo um precursor de agentes de defesa como as fitoalexinas (Buchanan, 2015). As fitoalexinas são compostos antimicrobianos de baixo peso molecular, sintetizados de forma endógena e acumulados nas células vegetais em resposta a uma eventual infecção (Braga, 2007). Como ferramenta aliada aos biofertilizantes, a nanotecnologia se concentra na manipulação da matéria em escala nanométrica (1 a 100 nanômetros), tem potencial para criar materiais, dispositivos e sistemas inovadores. Sua aplicação na agricultura visa aumentar a eficiência dos compostos químicos mais usados, reduzir a quantidade de produtos fitofarmacêuticos e melhorar a absorção de fertilizantes (Kulkarni, 2015).

Os nanocompósitos podem ser feitos sob medida para solucionar problemas específicos encontrados na eficácia dos defensivos agrícolas e fertilizantes (Bhushan, 2007). As nanopartículas de prata e zinco, em particular, mostram-se promissoras para aumentar a produtividade e a segurança alimentar, com suas propriedades antimicrobianas e bioestimulantes sendo exploradas em diversos trabalhos conduzidos, suas propriedades exploradas em múltiplos estudos, mostram potencial para revolucionar o controle de pragas, doenças e nutrição das plantas (Roco, 2001; Singh, 2020).

Contudo, é necessário realizar novas pesquisas mais abrangentes para avaliar os impactos ambientais e garantir a segurança humana no uso desses recursos.

Desta forma, esses nanocompósitos podem ser utilizados como complementos, feitos sob medida para solucionar os problemas específicos encontrados na aplicação e eficácia dos defensivos agrícolas e fertilizantes (Axelos, 2017).

Embora ainda em fase inicial de desenvolvimento na agricultura, o uso de nanopartículas de prata e zinco tem despertado considerável interesse pela comunidade científica. Pesquisas recentes evidenciam a eficiência dessas nanopartículas no combate a patógenos, no estímulo ao crescimento vegetal e na melhoria da absorção de nutrientes (Singh, 2017; Sinha, 2017; Tiwari, 2020). No entanto, é fundamental conduzir estudos abrangentes para avaliar os impactos ambientais e garantir a segurança humana no uso responsável e sustentável desses novos recursos.

A utilização e implementação da nanotecnologia na agricultura tem despertado um grande interesse tanto na comunidade acadêmica quanto no setor privado devido ao seu potencial de impacto em aprimorar a eficiência dos processos agrícolas, incremento das colheitas e a preservação ambiental. O emprego de aminoácidos de maneira associada a nanopartículas de zinco e prata na agricultura representa uma abordagem disruptiva e sustentável para melhorar a produtividade e a qualidade dos cultivos, contribuindo para uma produção de alimentos mais segura e amigável ao meio ambiente.

Este estudo propõe que a associação de nanopartículas de prata ou zinco com aminoácidos traz benefícios sinérgicos no tratamento de sementes de soja. Caso seja rejeitada a hipótese inicial (H_0), aceita-se então que não há benefícios sinérgicos na associação entre nanopartículas e aminoácidos para o crescimento inicial das plantações de soja.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo desenvolver um fisio ativador a base de aminoácidos associado a nano partícula de prata e zinco para tratamento de sementes em soja.

2.2. Objetivos Específicos

- a) Definir dose ideal de nano partícula de prata e zinco combinado com aminoácido;

- b) Definir dose ideal de aminoácido isolado para tratamento de semente em soja;
- c) Avaliar desenvolvimento inicial de plântula de soja sob diferentes tratamentos;
- d) Avaliar efeito sinérgico de aminoácidos associados a nano partículas de prata e micro partículas de zinco.

3. CAPÍTULO I: AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO INICIAL DE SEMENTES DE SOJA TRATADAS COM DOSES DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA, MICROPARTÍCULAS DE ZINCO E AMINOÁCIDOS

RESUMO

RAMOS, Thomás Oehninger. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, agosto, 2024. **Avaliação do desenvolvimento inicial de sementes de soja tratadas com doses de nanopartículas de prata, micro partículas de zinco e aminoácidos.** Professor Orientador: Dr. Reginaldo Ferreira Santos. Co-orientador Dra. Luciene Kazue Tokura

O emprego de biofertilizantes a base de aminoácidos, nanotecnologia a base de nano partículas de zinco e prata, tem sido estudado como uma alternativa viável ao uso de fertilizantes minerais e produtos agroquímicos, com um uso mais adequado do ponto de vista ecológico. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes doses de um biofertilizante experimental e nanopartículas de zinco e prata, durante a fase inicial de desenvolvimento de sementes de soja. Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Sementes da Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNDETEC), Cascavel, PR, no ano de 2023. Para a avaliação de germinação foi utilizado o delineamento experimental de blocos casualizados contando com 23 tratamentos com variação de dose de matriz de aminoácido associado e não associado a zinco e manganês, micro compostos de zinco e nano compostos de prata. Para a avaliação de atividade enzimática e proteína foi utilizado o delineamento inteiramente casualizados com 12 tratamentos. Foi avaliado a taxa de germinação, atividade enzimática da peroxidase e teor de proteína de plântulas. O uso de nanopartículas de zinco em doses isoladas para o tratamento de soja quando, comparado com os demais tratamentos, se mostrou mais vantajoso para o bom desenvolvimento inicial da cultura, colaborando para uma germinação rápida e uniforme.

Palavras-chaves: Aminoácidos, tratamentos de sementes, nanopartículas e germinação.

"O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq) - Programa MAI/DAI"

ABSTRACT

RAMOS, Thomás Oehninger. State University of Western Paraná, 2022, august. **Effects of silver nanoparticles, zinc microparticles, and amino acids on early soybean seed development.** Professor advisor: Dr. Reginaldo Ferreira Santos. Co-advisor: Luciene Kazue Tokura

The use of biofertilizers based on amino acids and nanotechnology involving zinc and silver nanoparticles has been studied as a viable alternative to the use of mineral fertilizers and agrochemical products, with a more suitable application from an ecological standpoint. The objective of this study was to evaluate the effect of different doses of an experimental biostimulant and zinc and silver nanoparticles during the early development phase of soybean seeds. The experiments were conducted at the Seed Laboratory of the Foundation for Scientific and Technological Development (FUNDETEC), Cascavel, PR, in the year 2023. For the germination evaluation, a randomized block design was used, comprising 23 treatments with varying doses of amino acid matrix associated and not associated with zinc and manganese, micro zinc compounds, and nano silver compounds. For the assessment of enzymatic activity and protein content, a completely randomized design with 12 treatments was employed. The germination rate, peroxidase enzymatic activity, and protein content of seedlings were evaluated. The use of isolated doses of zinc nanoparticles for soybean treatment, when compared to other treatments, demonstrated more advantages for the early development of the crop, contributing to rapid and uniform germination.

Keywords: Amino acids, seed treatments, nanotechnology and seed germination.

"This study was financed in part by the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq) - MAI/DAI"

3.1. INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max (L.) Merrill*) ocupa uma posição de liderança para o agronegócio brasileiro, sendo atualmente o grão mais produzido no Brasil (USDA, 2024). O aumento na produção desta cultura, ao longo das últimas décadas, tornou possível a melhora do manejo e uso de solo, aliado aos avanços tecnológicos. Dentre as diversas tecnologias disponíveis para potencializar o potencial produtivo da cultura por meio da redução do impacto por estresse biótico e abiótico, temos a aplicação de biofertilizantes e o uso de nanotecnologia no tratamento de sementes de soja.

O potencial produtivo da cultura da soja, embora seja definido de forma parcial pelas características genéticas da semente, as condições ambientais durante o desenvolvimento da planta como regime hídrico, temperatura, fotoperíodo, mato competição, fertilidade e física do solo, dentre outros fatores podem interferir indiretamente no potencial e resultado (SENTELHAS, 2015).

A rápida germinação proporciona para as plantas de soja uma vantagem competitiva sobre as plantas invasoras, ocupando o espaço e os recursos que anteriormente as plantas daninhas poderiam se estabelecer, desta forma, como consequência ocorre uma redução do risco de perdas significativas devido às condições abióticas adversas, maior estabilidade no stand de plantas e potencial produtivo da cultura (RODRIGUES, 2023).

Os biofertilizantes, em especial a base de aminoácidos, são substâncias de crescimento vegetal que podem atuar isoladamente ou de maneira associada na promoção do desenvolvimento das plantas e bioativadores vegetais (CASTRO, 2014). Estudos conduzidos por Casillas et al. (1986), verificaram que reguladores vegetais associados a aminoácidos e nutrientes agem de forma mais eficiente uma vez aplicados em baixas concentrações.

A aplicação de bioestimulantes via semente tem sido proposta por diversos trabalhos conduzidos, estes bioinsumos podem ser aplicados diretamente nas plantas, em sementes ou via foliar, sendo a via foliar mais comumente utilizada, tendo como finalidade o incremento do potencial produtivo. Uma vez utilizado destes compostos, estudos têm apontado para respostas fisiológicas e morfológicas. Na ordem morfológica, foram observadas respostas de enraizamento, floração, frutificação senescência de plantas (Castro e Vieira, 2001). Trabalhos conduzidos por Haque et al. (1971) evidenciaram a demanda de diferentes aminoácidos requeridos em quantidades diferentes em vários estádios do desenvolvimento da planta. Para o

estádio de plântula de arroz, a síntese de proteína pode haver um grande requerimento para no caso dos aminoácidos ácido aspártico e ácido glutâmico. De outra forma, para o estágio reprodutivo ou na fase de espiga jovem a planta pode utilizar mais prolina do que outros aminoácidos.

Adicionalmente em trabalhos conduzidos foram observadas respostas na ordem fisiológica e bioquímica por meio da ação no metabolismo protéico pelo aumento de síntese de enzimas peroxidases no processo bioquímico, desta forma como consequência pode ocorrer um aumento na taxa de síntese de enzimas envolvidas no processo de germinação das sementes (Li, 2023; Feng, 2022; S El-hassanin;2018). Da mesma forma foi observado, por estudos conduzido por Pinheiro et al (2014), alterações na atividade fotossintética da planta de soja em relação à quantificação da concentração de clorofila, os resultados demonstraram uma supressão na fluorescência da clorofila quando submetida a tratamentos de sementes de soja com aplicação de nanopartículas de prata.

O uso de aminoácidos e nanopartículas de zinco e prata, apresentam como alternativa para contribuir para o crescimento inicial de plantas e reduzir diferentes tipos de condições adversas tais como déficit hídrico e salinidade. Adicionalmente, a utilização de aminoácidos e nanopartículas na cultura da soja pode contribuir para o desenvolvimento de plantas mais saudáveis e produtivas de maneira mais sustentável.

Este trabalho visa desenvolver e avaliar um biofertilizante para tratamento de sementes de soja, com o objetivo de otimizar o desenvolvimento inicial da cultura.

3.2. REVISÃO DE LITERATURA

3.2.1. Uso de aminoácidos em tratamento de sementes

A prática de aplicar aminoácidos no tratamento das sementes está se tornando cada vez mais comum na agricultura. A aplicação prévia dos aminoácidos antes da semeadura pode trazer benefícios notáveis, incluindo estimulação da germinação, melhoria do crescimento radicular e do desenvolvimento vegetativo, além de aumento da produtividade (Mishra, 2021).

Na fase inicial da germinação, os aminoácidos atuam como nutrientes essenciais ao fornecer energia e estimular a produção de enzimas fundamentais para o processo germinativo das sementes (Ghasemzadeh, 2016). Além disso, podem aumentar a resistência ao estresse ambiental, como seca e frio durante o início do crescimento (Cerny, 2020).

Estudos apontam que o tratamento de sementes de soja com aminoácidos pode melhorar consideravelmente a taxa de germinação e o vigor inicial das plantas. Kauffman et al. (2019) notaram que sementes tratadas com uma mistura de aminoácidos apresentaram uma taxa de germinação 15% superior em comparação com o grupo controle. Esse impacto é atribuído à capacidade dos aminoácidos em otimizar a absorção de nutrientes e a síntese proteica nas sementes, facilitando uma emergência mais rápida e uniforme das plântulas (Hildebrandt, 2015).

No contexto do tratamento de sementes, aminoácidos como prolina, glicina, cisteína e ácido glutâmico são comumente empregados para estimular a germinação e o crescimento inicial das mudas. Cada aminoácido possui uma função especial e sua especificidade na atividade bioquímica. No caso da cisteína, tem o papel importante para a formação de ligações de dissulfeto em proteínas, a cisteína também é um precursor de glutathione, um poderoso antioxidante. Durante a germinação, ela pode ajudar a proteger as células do estresse oxidativo e regular processos metabólicos. O ácido glutâmico tem o papel fundamental na biossíntese de outros aminoácidos e está envolvido na sinalização dentro da célula. O ácido glutâmico participa da produção de energia e do metabolismo celular, essenciais para a emergência e crescimento inicial da plântula. A glicina está envolvida na biossíntese de clorofila e na síntese de outros aminoácidos. Também pode ajudar na proteção contra estresses oxidativos, contribuindo para a sobrevivência celular durante a germinação. No caso da prolina atua como um osmoprotectante e osmorregulador, ajudando as células a manterem a pressão osmótica durante condições de estresse, como a desidratação. Durante a germinação, a prolina também pode atuar na regulação do crescimento celular e na estabilização de proteínas (Björn, 2021; Locato, 2017; Khalid, 2021).

3.2.2. Uso de Nanopartículas de zinco e prata em tratamento de sementes

As nanopartículas de prata e zinco se destacam como ferramentas promissoras no tratamento das sementes, contribuindo para aumentar a produtividade e garantir a segurança alimentar. Suas propriedades antimicrobianas e bioestimulantes, amplamente estudadas em várias pesquisas, apresentam potencial para revolucionar a gestão de pragas, doenças e nutrição das plantas. A utilização de nanopartículas de prata e zinco na agricultura, apesar de ainda estar em estágio inicial de desenvolvimento, está se tornando cada vez mais relevante e despertando grande interesse na comunidade científica. Pesquisas recentes destacam a eficácia dessas nanopartículas no combate a patógenos, estímulo ao crescimento das plantas e otimização da absorção de nutrientes (Singh et al., 2020; Singh et al., 2017; Sinha et al., 2017). Nos últimos tempos, a aplicação de micropartículas de zinco (ZnNPs) no tratamento de sementes tem surgido como uma abordagem promissora na agricultura. As micropartículas de zinco são partículas extremamente pequenas, com dimensões entre 100 e 200 nanômetros, que exibem propriedades físicas e químicas distintas em comparação com suas formas maiores. Esta análise investiga os avanços recentes e os possíveis benefícios das ZnNPs no tratamento das sementes, com base em estudos e documentos relevantes.

O tratamento das sementes com ZnNPs pode ter um impacto significativo na germinação e no crescimento inicial das plantações, proporcionando uma forma eficiente para garantir o desenvolvimento saudável dos cultivos. Uma pesquisa conduzida por Prasad et al. (2012) evidenciou que a aplicação dessas nanopartículas em sementes de amendoim resultou em melhorias na germinação e no vigor das plântulas, juntamente com uma maior absorção de zinco pelas plantas. Os autores atribuíram esses efeitos ao aumento da disponibilidade e solubilidade do zinco quando presente na forma de nanopartículas.

Conforme Rolim e colaboradores (2017), a utilização de nanopartículas de prata nas sementes de soja resultou em uma germinação mais rápida e em um vigor inicial maior das plântulas. Esse efeito pode estar relacionado à influência das nanopartículas na promoção de processos celulares e fisiológicos, como a respiração e a fotossíntese, conforme ressaltado por Jo et al. (2015).

Apesar dos benefícios claros, o uso de NPs na agricultura suscita preocupações sobre a segurança ambiental e a saúde humana. As consequências a longo prazo das NPs no solo, água e cadeias alimentares ainda são pouco compreendidas. Estudos recentes de Mahapatra e Arakha (2021) ressaltam a

importância de investigações mais detalhadas sobre a ecotoxicologia das nanopartículas.

Pesquisas conduzidas por Kumar et al. (2015) indicam a necessidade de avaliações rigorosas dos riscos para compreender o comportamento e os impactos ecotoxicológicos das nanopartículas no solo, água e organismos do ecossistema. Assim sendo, é crucial estabelecer diretrizes regulatórias sólidas e adotar práticas agrícolas sustentáveis para garantir o uso seguro dessas tecnologias.

Além disso, conforme ressaltado por Sharon, Choudhary e Kumar (2010), é fundamental criar regulamentações claras e práticas para o emprego seguro de nanopartículas na agricultura. Essas normativas devem assegurar que os benefícios potenciais sejam alcançados sem comprometer a sustentabilidade ambiental nem a segurança dos alimentos produzidos.

3.3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no ano de 2023, no Laboratório de Sementes e em canteiros anexos, da Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNDETEC), Cascavel-PR o qual se localiza 24°59'53" de latitude Sul e 53°17'45" de longitude Oeste e 809 m de altitude. A região possui clima subtropical úmido, caracterizado como clima de tipo Cfa – segundo Köppen. Precipitação Média Anual de 1.800 a 2.000 mm, e temperatura média de 20 a 21,0°C.

As sementes de soja utilizadas foram a cultivar Brasmax Zeus IPRO. Segundo o fabricante (BRASMAX,2024) tem grupo de maturação 5.5, resistência ao acamamento e PMS (peso de mil grãos) médio de 209 g.

O aminoácido utilizado contém em sua composição uma elevada concentração de 48,0% de aminoácidos, oriundos de proteína hidrolizada de origem animal, distribuída em: 2,27% de ácido aspártico, 4,66% ácido glutâmico, 0,55% serina, 11,50% glicina, 0,27% histidina, 0,22% treonina, 2,03% arginina, 4,40% alanina, 6,73% prolina, 0,33% tirosina, 1,11% valina, 0,40% de metionina, 0,01% cistina e cisteína, 0,59% isoleucina, 1,43% leucina, 0,89% fenilalanina, 1,64% lisina, 4,69% hidroxiprolina e 1,00% ornitina. Adicionalmente observa-se na tabela 1 a composição química deste aminoácido utilizado.

Tabela 1 - Caracterização química do aminoácido

Unidade	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre
%	7,80	0,38	0,13	0,11	0,009	0,95
	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cromo	Mercurio	Níquel
mg. Kg ⁻¹	<0,10	0,95	3,9	1,7	<0,10	0,80

Para o tratamento de micropartículas de zinco (NZN) na forma de óxido de zinco na concentração de 10% com 220 nanômetros e zinco quelatizado com manganês na concentração de 0,75% cada. Em relação ao tratamento a base de nano de prata (NPB), na forma de nanopartículas de prata metálica, na concentração de 1000 PPM com 5 a 10 nanômetros. Os tratamentos foram realizados no interior de um recipiente plástico com capacidade de 500 ml, que foi agitado por um período de dois minutos.

3.3.1 Testes de Germinação

Para a avaliação de germinação, as sementes foram submetidas a vinte e três tratamentos (Tabela 2), onde foram utilizadas diferentes doses de aminoácidos, nanopartículas de prata e óxido de zinco. O delineamento utilizado foi em DBC com 4 repetições.

Tabela 2 - Caracterização dos tratamentos utilizados no experimento de avaliação de germinação em soja.

Tratamento	Descrição
T0	Testemunha
T1	Semente com tratamento, Aminoácido na dose de 0,50 ml + zinco e manganês quelatizado na concentração de 0,75%
T2	Semente com tratamento, Aminoácido na dose de 1,00 ml + zinco e manganês quelatizado na concentração de 0,75%
T3	Semente com tratamento, Aminoácido na dose de 1,50 ml + zinco e manganês quelatizado na concentração de 0,75%

T4	Semente com tratamento, Aminoácido na dose de 2,00 ml + zinco e manganês quelatizado na concentração de 0,75%
T5	Semente com tratamento, Nano partícula de prata na dose de 0,50 ml
T6	Semente com tratamento, Nano partícula de prata na dose de 1,00 ml
T7	Semente com tratamento, Nano partícula de prata na dose de 1,50 ml
T8	Semente com tratamento, Nano partícula de prata na dose de 2,00 ml
T9	Semente com tratamento, Nano partícula de prata na dose de 2,50 ml
T10	Semente com tratamento, Nano partícula de zinco na dose de 0,50 ml
T11	Semente com tratamento, Nano partícula de zinco na dose de 1,00 ml
T12	Semente com tratamento, Nano partícula de zinco na dose de 1,50 ml
T13	Semente com tratamento, Nano partícula de zinco na dose de 2,00 ml
T14	Semente com tratamento, Nano partícula de zinco na dose de 2,50 ml
T15	Semente com tratamento, Aminoácido na dose de 0,50 ml
T16	Semente com tratamento, Aminoácido na dose de 1,00 ml
T17	Semente com tratamento, Aminoácido na dose de 1,50 ml

T18	Semente com tratamento, Aminoácido na dose de 2,00 ml
T19	Semente com tratamento, Aminoácido na dose de 2,50 ml
T20	Semente com tratamento, Nano partícula de zinco na dose de 1,00 ml + Nano partícula de prata na dose de 1,50 ml + Aminoácido na dose de 0,50 ml
T21	Semente com tratamento, Nano partícula de zinco na dose de 1,00 ml + Nano partícula de prata na dose de 1,50 ml + Aminoácido na dose de 1,00 ml
T22	Semente com tratamento, Nano partícula de zinco na dose de 1,00 ml + Nano partícula de prata na dose de 1,50 ml

Doses referente a ml por kg de semente tratada.

Posteriormente, foi realizado o Teste de Germinação (GERM) , conforme metodologia : (1) Índice de Germinação (GERM) em percentual: realizado com quatro subamostras de 50 sementes cada, utilizando um volume de água com pH 6,8 equivalentes a três vezes a massa do papel seco (Brasil, 2009). Os rolos de papel (substrato com pH 7,0) foram colocados em um germinador do tipo Mangelsdorf, mantido a uma temperatura constante de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$. A percentagem de plântulas normais foi analisada no oitavo dia após o início do experimento, conforme às Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). Foram consideradas germinadas as sementes que emitiram radícula. A porcentagem de Germinação (%) foi determinada ao final de oito dias de experimento. Os valores de porcentagem foram obtidos através da fórmula utilizada por Silva et al. (2021):

$$G = (N/A) * 100$$

(Eq. 1)

Em que:

N = número total de sementes germinadas ao final do experimento;

A = número total de sementes semeadas.

Os índices de germinação foram submetidos primeiramente a análise de variância dos tratamentos, sendo as médias analisadas pelo teste de comparação de média Scott-Knott (1974), ($p \leq 0,05$) de probabilidade. Posteriormente, a fim de avaliar o efeito de doses dos tratamentos na germinação foi realizada regressão com ($p \leq 0,05$) de probabilidade. Utilizou-se o programa estatístico Sisvar.

3.3.2 Determinação da atividade enzimática

Para a avaliação de germinação, as sementes foram submetidas a 12 tratamentos (Tabela 2), onde foram utilizadas diferentes doses de aminoácidos, nanopartículas de prata e micropartículas de zinco. O delineamento utilizado foi em DIC com 4 repetições.

Tabela 3 - Caracterização dos tratamentos utilizados no experimento de avaliação de atividade enzimática e proteína em plântulas de soja.

Tratamento	Doses		
	Aminoácido	Nano Prata	Micro Zinco
1	0	0	0
2	0,50 mL+0,75% Zn e Mn	0	0
3	1,00 mL +0,75% Zn e Mn	0	0
4	1,50 mL +0,75% Zn e Mn	0	0
5	2,00 mL +0,75% Zn e Mn	0	0
6	0	1,00 ml	0
7	0	1,50 ml	0
8	0	0	0,50 ml
9	0	0	1,00 ml
10	0	0	1,50 ml
11	0	0	2,00 ml
12	0	0	2,50 ml

A emergência das plântulas em substrato de areia, a areia utilizada foi previamente lavada em um canteiro, sendo irrigada durante dois dias consecutivos para acomodação do leito. Na semeadura das sementes de soja, utilizou-se da cultivar BMX Zeus. Foram abertos sulcos longitudinais em cada bandeja, com auxílio de

sulcador de madeira, com 3 cm de profundidade e espaçados de 4 cm entre si, utilizando-se 5 sementes por tratamento, com 4 repetições. O teste foi realizado em condições de casa de vegetação e a umidade mantida com irrigações moderadas, no mesmo período em que foram conduzidos os testes em laboratório. Ao final do décimo terceiro dia, após a semeadura das sementes, quando não foi observada emergência de novas plântulas, realizou-se a coleta de 1 plântula por repetição, sendo as raízes lavadas sobre peneira de malha fina, com água corrente.

Os extratos enzimáticos brutos usados para determinar a atividade da enzima peroxidase (POX) foram preparados por meio da maceração de cerca de 0,3 g de embrião em nitrogênio líquido. Após esse processo, foram adicionados 2 ml de um meio de homogeneização. Em seguida, a mistura foi centrifugada a uma força de 12.000 xg, durante 15 minutos, a uma temperatura de 4 °C. O meio de homogeneização consistiu em tampão fosfato de potássio 0,1M, com pH ajustado para 6,8, além de ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) a 0,1 mM, fluoreto de fenilmetilsulfônico (PMSF) a 1 mM, e polivinilpirrolidona (PVPP) a 1% (p/v), conforme descrito por Peixoto et al. (1999).

3.3.2.1 Determinação da Peroxidase (POX)

A atividade da peroxidase foi avaliada ao adicionar 100 µL do extrato enzimático bruto a 2,9 mL de um meio de reação que continha tampão fosfato de potássio 25 mM, com pH 6,8, além de pirogalol 20 mM e peróxido de hidrogênio 20 mM, conforme descrito por Kar e Mishra (1976). O aumento da absorvância observado durante o primeiro minuto de reação, medido a 420 nm a 25 °C, indicou a formação de purpurogalina. Para calcular a atividade enzimática, utilizou-se o coeficiente de extinção molar de 2,47 mM L⁻¹ cm⁻¹, conforme relatado por Chance e Maehley (1955), e os resultados foram expressos em µmol min⁻¹ mg⁻¹ de proteína.

3.3.2.2 Determinação do teor de proteínas

Para determinar os teores de proteínas nos extratos enzimáticos, utilizou-se o método de Bradford (1976), com a BSA (albumina sérica bovina) como padrão. Neste procedimento, 100 µL do extrato enzimático foram misturados a 1 mL do reagente de Bradford, seguido de uma agitação cuidadosa. Após um período de 20 minutos, a

absorbância da amostra foi medida em um espectrofotômetro, ajustando o comprimento de onda para 595 nm.

3.3.3 Análise estatística

Os índices de peroxidases e proteína foram submetidos primeiramente a análise de variância dos tratamentos, sendo as médias analisadas pelo teste de comparação de média Scott-Knott (1974), ($p \leq 0,05$) de probabilidade. Posteriormente a fim de avaliar o efeito de doses dos tratamentos foi realizada regressão com ($p \leq 0,05$) de probabilidade. Utilizou-se o programa estatístico Sisvar.

3.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4.1 Avaliação de Germinação

Após submetida a análise de variância conforme tabela 3, verificou-se diferença significativa entre os tratamentos. Conforme mostrado na Tabela 4, pode-se observar que os tratamentos 12 e 13 que apresentaram os melhores resultados, em que receberam entre 1,50 e 2,00 ml por kg de semente⁻¹ de micro partícula de zinco respectivamente no tratamento de suas sementes, apresentando médias acima de 90 % de germinação. As nanopartículas de óxido de zinco (ZnOs) atuam principalmente de três formas: elevação do nível intracelular de espécies reativas de oxigênio (EROs) na superfície do óxido de zinco (Wang et al., 2014); pela liberação de íons antimicrobianos, principalmente Zn^{2+} (Kasemets et al., 2009; Li et al., 2011) ou contato direto de nanopartículas de ZnO com a parede celular da bacteriana (Brayner et al., 2006; Zhang et al., 2007). Neste sentido, o zinco pode ser utilizado para fins de redução de estresse oxidativo promovendo o crescimento celular e atividade da membrana celular em condições adversas (Cakmak, 2000).

Tabela 4 - O resumo das análises de variância para avaliação de germinação (GERM).

FV	GL	QM
		GERM
Tratamento	22	59,47 S
Bloco	3	6,10
Resíduo	69	4,8
Média geral:		93,07

CV (%)

2,35

NS: Não houve diferença significativas entre as médias dos tratamentos, pelo de teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

S: Houve diferença significativas entre as médias dos tratamentos, pelo de teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

Para a característica Germinação (GERM), foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos (tabela 4). Os valores médios obtidos foram de 93,07% de sementes germinadas. Pelos resultados, indicados na tabela 2, é possível observar eu para os testes de GERM, foram identificadas diferenças significativas ($p \geq 0,05$) para os efeitos de tratamentos quanto ao percentual de sementes germinadas.

Foi observado grande variação do GERM entre os tratamentos variando de 83 a 99%. O uso de nano partículas de zinco nas doses entre 1,50 e 2,00 mL (T11 e T12) por kg^{-1} de semente proporcionaram o melhor resultado em GERM em relação aos demais tratamentos (Tabela 3). Estes resultados corroboram com trabalhos conduzidos por Sedghi (2013), que ao avaliar o efeito do uso de nano óxido de zinco em condições de estresse abiótico observou incremento no percentual de sementes germinadas e incremento na taxa de germinação.

Por fim, a dose de 1,5 e 2,0 mL kg^{-1} de semente de micropartículas de zinco promoveu o incremento de germinação em 1% em relação ao tratamento controle (Tabela 4).

O uso de aminoácidos e micropartículas de prata em tratamento de sementes não proporcionou melhora no desenvolvimento inicial para a cultura da soja. Esses resultados diferiram dos encontrados por Teixeira (2018), que observou uma melhora no desenvolvimento inicial da cultura, com incremento no índice de velocidade de emergência e massa de matéria seca. Entretanto, é importante destacar a diferença na concentração e composição principalmente dos aminoácidos fenilalanina e cisteína que podem interferir diretamente no desenvolvimento inicial da semente.

Tabela 5 - Desdobramento das médias das variáveis % de germinação (GERM) de semente de soja sem envelhecimento com sete doses diferentes de aminoácidos e micro partículas de zinco e nanopartículas de prata.

Tratamento	Doses			Germ
	Aminoácido	Nano Prata	Micro Zinco	
0	0	0	0	98,00 a

1	0,50 mL+0,75% Zn e Mn	0	0	90,75 c
2	1,00 mL +0,75% Zn e Mn	0	0	85,50 d
3	1,50 mL +0,75% Zn e Mn	0	0	83,00 d
4	2,00 mL +0,75% Zn e Mn	0	0	93,25 b
5	0	0,50 mL	0	91,50 c
6	0	1,00 mL	0	91,00 c
7	0	1,50 mL	0	91,00 c
8	0	2,00 mL	0	95,25 b
9	0	2,50 mL	0	94,75 b
10	0	0	0,50 mL	94,25 b
11	0	0	1,00 mL	97,25 a
12	0	0	1,50 mL	99,00 a
13	0	0	2,00 mL	99,00 a
14	0	0	2,50 mL	91,50 c
15	0,50 mL	0	0	94,25 b
16	1,00 mL	0	0	91,50 c
17	1,50 mL	0	0	90,50 c
18	2,00 mL	0	0	94,00 b
19	2,50 mL	0	0	90,50 c
20	0,50 mL	1,50 mL	1,00 mL	92,75 b
21	1,00 mL	1,50 mL	1,00 mL	95,00 b
22	0	1,00 mL	1,50 mL	95,75 b

Doses referente a mL por kg de semente tratada.

Médias de tratamentos seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (1974) a 5% de probabilidade.

A Tabela 6 apresenta os resultados da análise de variância referentes a aplicação de doses de nano partículas de prata, zinco e aminoácidos, via sementes. Observa-se efeito positivo de doses para a variável % de germinação analisada.

Tabela 6 - O resumo das análises de variância (ao nível de significância de 0,05) para avaliação do efeito de diferentes doses de nanopartículas de zinco (NZN), nanopartículas de prata (NPB), aminoácido (AM) e aminoácido associado a zinco e manganês (BNT) na germinação de soja (GERM).

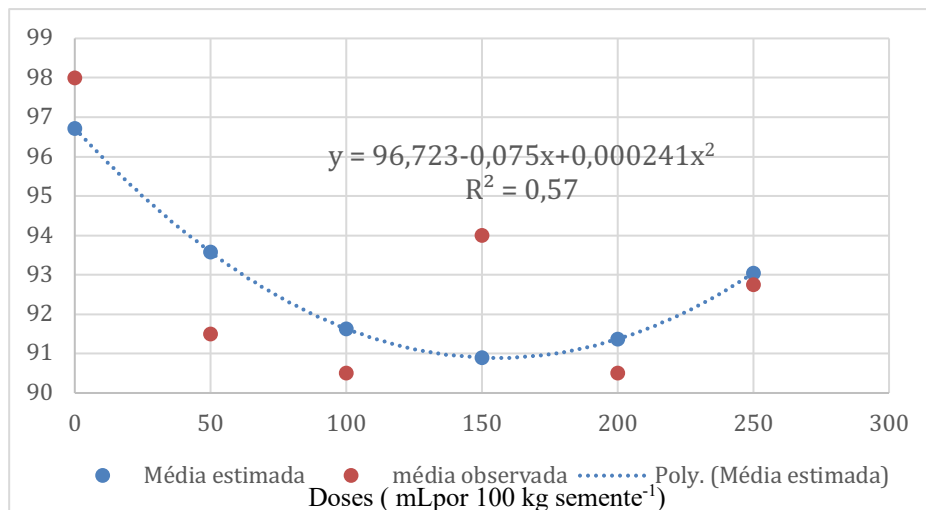
FV	GL	QM			
		NZN	NPB	BNT	AM
Bloco	3	1,67 NS	0,375 NS	15,26 NS	0,82 NS
Dose	5	36,3 S	28,94 S	144,32 S	32,57 S

Resíduo	15	3,16	5,00	8,39	3,95
Média geral:		96,5	94,04	90,10	92,87
CV (%)		1,84	2,38	3,22	2,14

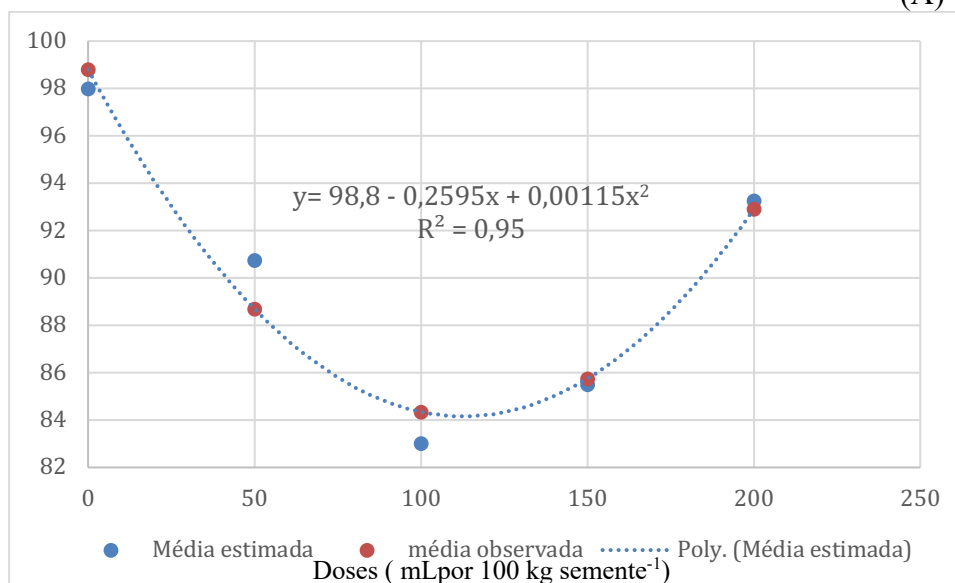
NS: Não houve diferença significativas entre as médias dos tratamentos, pelo de teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

S: Houve diferenças significativas entre as médias dos tratamentos, pelo de teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

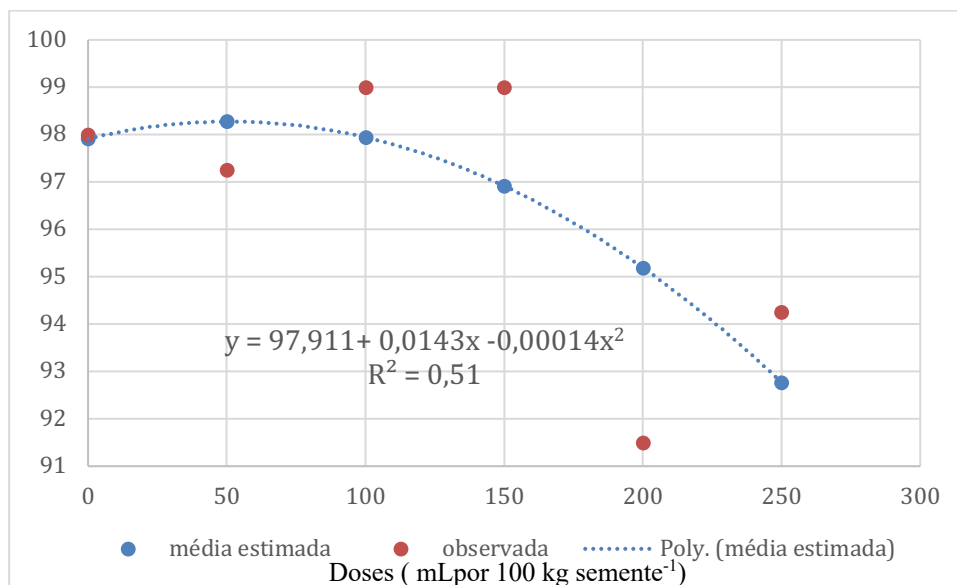
A figura 1 mostra os resultados da análise de regressão referentes a aplicação de diferentes doses dos tratamentos realizados, via sementes. Foram observados ajustes significativos, utilizando modelos polinomiais de segundo grau, para a variável germinação em sementes de soja.



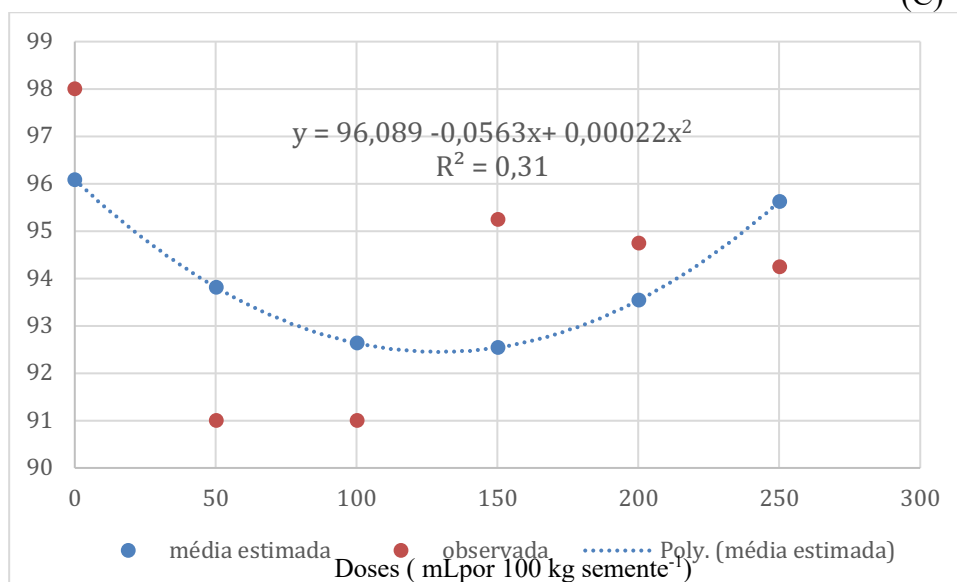
(A)



(B)



(C)



(D)

Figura 1: Efeito da aplicação de doses de nanopartículas de zinco (NZN), nanopartículas de prata (NPB), aminoácido (AM) e aminoácido associado a zinco e manganês (BNT) em germinação (% de sementes germinadas) de sementes de soja (*glycine max*). Descrição dos tratamentos: (A) – AM, (B) – BNT, (C) – NZN e (D) – NPB

O efeito negativo para germinação dos tratamentos com aminoácido pode ser explicado devido a presença de alguns metais pesados conforme apresentado na composição (tabela 1) da matriz de aminoácidos. Estudo conduzido por Silva (2018), em sementes expostas ao metal pesado cádmio, demonstraram que, mesmo em baixas doses, este metal teve efeito tóxico sobre as sementes. Ponto mínimo de dose obtido pela equação foi de 1,55 mL por kg de semente. Para o segundo tratamento realizado com o aminoácido (BNT) foi observado um comportamento similar ao

tratamento AM, porém, com um ponto mínimo obtido de 1,13 mL por kg de semente. Para o tratamento NPB foi observado efeito de dose para o tratamento, um efeito negativo foi observado para a germinação com o ponto de dose mínima de 1,28 mL por kg de semente. Em relação ao tratamento NZN, foi observado efeito resposta de dose, um efeito negativo para germinação em altas doses foi observado.

3.4.2 Avaliação atividade Peroxidase e Proteína

Após analisados os dados de peroxidase e proteína, foi submetida a análise de variância conforme tabela 7, verificou-se diferença significativa entre os tratamentos para a variável resposta peroxidase. Para a variável resposta proteína não foi observado diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 7 - O resumo das análises de variância para avaliação de atividade da peroxidase (Px) e proteína (Pt).

FV	GL	QM	
		Peroxidase	Proteína
Tratamento	12	0,0407 ^S	0,0132 ^{NS}
Resíduo	39	0,0143	0,00615
Média geral:		0,44	0,45
CV (%)		27,12	17,07

NS: Não houve diferenças significativas entre as médias dos tratamentos, pelo de teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

S: Houve diferenças significativas entre as médias dos tratamentos, pelo de teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

Conforme observado na Tabela 8, observa-se que para os tratamentos submetidos à nanopartículas de prata, não houve diferença significativa quando comparado ao tratamento da testemunha (tratamento 1), tanto para a atividade POX quanto para a proteína. Para os demais tratamentos BTN e NPZ foram observadas diferenças significativas apenas para atividade POX. Neste sentido trabalhos conduzidos por Santos et al (2018). ao analisarem a atividade enzimática de 16 diferentes cultivares, quando submetidas a estresse abiótico controlado, observaram maior nível de atividade enzimática de POX.

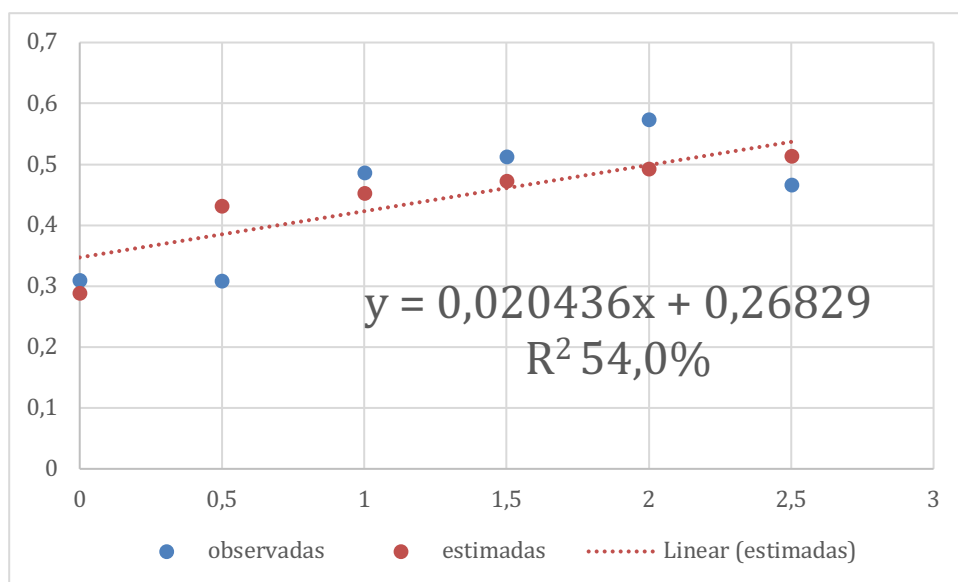
Tabela 7 - Desdobramento das médias das variáveis Peroxidase (POX) de atividade enzimática germinação (GERM) em plântulas de soja sem envelhecimento com doze diferentes de aminoácidos e micro partículas de zinco e nanopartículas de prata.

Tratamento	Doses			Proteína	Peroxidase
	Aminoácido	Nano Prata	Micro Zinco		
1	0	0	0	0,4718 a	0,3096 b
2	0,50 mL+0,75% Zn e Mn	0	0	0,4345 a	0,3180 b
	1,00 mL +0,75% Zn e Mn	0	0	0,4882 a	0,4718 a
3	1,50 mL +0,75% Zn e Mn	0	0	0,4255 a	0,5035 a
	2,00 mL +0,75% Zn e Mn	0	0	0,3966 a	0,6200 a
4	0	1,00 mL	0	0,4931 a	0,3809 b
5	0	1,50 mL	0	0,4524 a	0,3593 b
6	0	0	0,50 mL	0,3655 a	0,3083 b
7	0	0	1,00 mL	0,4002 a	0,4866 a
8	0	0	1,50 mL	0,5387 a	0,5125 a
9	0	0	2,00 mL	0,5737 a	0,5731 a
10	0	0	2,50 mL	0,4588 a	0,4616 a

Doses referente a mL por kg de semente tratada. Médias de tratamentos seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (1974) a 5% de probabilidade.

Para o efeito de dose da POX não foi observado efeito de doses para o tratamento NPB. Por outro lado, foi observado efeito de doses para os tratamentos BTN e NZN (figura 2). Para o tratamento NZN foi obtido um R^2 de 54,0% e para o tratamento BTN R^2 de 93,9%. Para ambos os tratamentos (BTN e NZN) as doses crescentes para atividade POX responderam de forma linear.

A



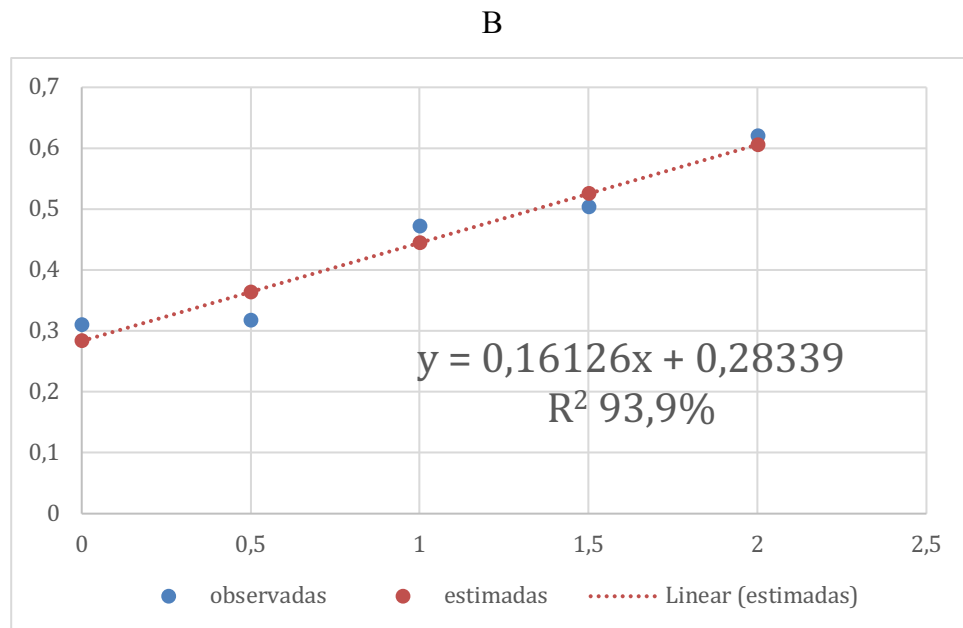


Figura 2: Efeito da aplicação de doses de micro partículas de zinco (NZN) e aminoácido associado a zinco e manganês (BNT) em atividade da peroxidase (POX) de plântulas de soja (*glycine max*). Descrição dos tratamentos: (A) – NZN , (B) – BNT.

3.5. CONCLUSÕES

O uso de nanopartículas de prata e micro partículas de zinco realizada de forma interassociada e associadas a aminoácidos para tratamento de sementes de soja no cultivar Brasmax Zeus IPRO não proporcionou melhora na germinação da cultura da soja.

O uso de nanopartículas de zinco em doses isoladas para o tratamento de soja da cultivar em questão se mostrou vantajoso para o bom desenvolvimento inicial da cultura, colaborando para uma germinação rápida e uniforme.

O uso de aminoácidos e micro partículas de zinco de forma isolada permite estimular o desenvolvimento inicial da planta e maior tolerância a diferentes tipos de estresses.

3.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARTECA, R.N. Plant growth substances: principles and applications. New York, Chapman & Hall. 1995, 332 p.

BAFAKEEH, O. T. et al. Nanofertilizers: a potential solution for sustainable agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 568, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00568>. Acesso em: 12 nov. 2024.

BJÖRN HEINEMANN, TATJANA M HILDEBRANDT, The role of amino acid metabolism in signaling and metabolic adaptation to stress-induced energy deficiency in plants, **Journal of Experimental Botany**, Volume 72, Issue 13, 22, Pages 4634–4645, 2021.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, 72(1-2), 248-254, 1976.

BRASIL. **Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA, 2009.

BRAYNER, R.; FERRARI-ILIOU, R.; BRIVOIS, N.; DJEDIAT, S.; BENEDETTI, M. F.; FIÉVET, F. Toxicological impact studies based on Escherichia coli bacteria in ultrafine ZnO nanoparticles colloidal medium. **Nano Letters, Washington** v. 6, p. 866– 870, 2006.

CACKMAK, I. Role of zinc in protecting plant cells from reactive oxygen species. **New phytol**. 146: 185-285, 2000.

CASILLAS, V.J.C.; LONDONO, I.J.; GUERRERO, A.H.; BUITRAGO, G.L. Análisis cuantitativo de la aplicación de cuatro bioestimulantes en el cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L.). **Acta agronômica**. V.36, n.2, p.185-195. 1986.

Castro, P. R. C. de, & Carvalho, M. E. A. (2014). **Aminoácidos e suas aplicações na agricultura**. Piracicaba: ESALQ, Série Produtor Rural, n. 57, 2014.

CASTRO, P. R. C.; VIEIRA, E. L. **Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2001. 132 p.

CERNY, J. KLIMEŠ, J. The impact of environmental conditions on seed germination. **Seed Science Research**, 30(2), 100-110, 2020.

Chance, B., & Maehly, A. C. Assay of catalases and peroxidases. In **Methods in Enzymology** . Academic Press, Vol. 2, pp. 764-775. 1955.

CONAB. **Companhia Nacional De Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira de grãos: quinto levantamento: safra 2023/24**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 13 fev. 2024.

FENG, Yue et al. **Effects of branched chain amino acids on seed germination of *Camelina sativa* under the drought and salt stress.** 2022.

GHASEMZADEH, A., & JAAFAR, H. Z. E. Role of amino acids in seed germination and plant growth. **Plant Physiology and Biochemistry**, 99, 16-28, 2016.

HAQUE, M. Z. et al. The incorporation of amino acids and nucleic acid bases into the seedling, reproductive stage and young ear portion of rice plants. **Plant and Soil**, v. 34, p. 17-24, 1971.

HILDEBRANDT, T. M.; NUNES NESI, A.; ARAÚJO, W. L.; BRAUN, H. P. Amino acid catabolism in plants. **Molecular Plant**, v. 8, n. 11, p. 1563-1579, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.molp.2015.09.005>. Acesso em: 12 nov. 2024.J

KAH, M.; HOFMANN, T. Nanomaterials in agriculture and food production: environmental and human health implications. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, n. 1, p. 1-12, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1859-6>. Acesso em: 12 nov. 2024.

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology**, v. 57, p. 315-319, 1976.

KASEMETS, K.; IVASK, A.; DUBOURGUIER, H. C.; KAHRU, A. Toxicity of nanoparticles of ZnO, CuO and TiO₂ to yeast *Saccharomyces cerevisiae*. **Toxicol In Vitro**, Oxford, v. 23, p. 1116–1122, 2009.

KAUFFMAN, E. et al. "Efficacy of Amino Acid-based Seed Treatments on Soybean Germination and Early Growth." **Journal of Agricultural Science**, 11(2), 34-45, 2019.

KHALID, M., SHAHZAD, S. M., & ARFAN, M. Role of amino acids in improving abiotic stress tolerance in plants. **Plant Growth Regulation**, 12, 34-47, 2021.

KUMAR, A., KUMAR, R., SINGH, J. Foliar application of amino acids in horticultural crops. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, 4(3), 222-228, 2015.

LI, M.; ZHU, L.; LIN, D. Toxicity of ZnO nanoparticles to *Escherichia coli*: mechanism and the influence of medium components. **Environmental Science & Technology**, Washington, v. 45, p. 1977–1983, 2011.

LI, Ying et al. Physiological changes associated with enhanced cold resistance during *Medicago ruthenica* germination and seedling growth in response to exogenous γ -aminobutyric acid. **Grassland Science**, v. 69, n. 2, p. 120-131, 2023.

LOCATO, V., CIMINI, S., DE GARA, L. **Glutathione as a Key Player in Plant Abiotic Stress Responses and Tolerance**. In: HOSSAIN, M., MOSTOFA, M., DIAZ-VIVANCOS, P., BURRITT, D., FUJITA, M., TRAN, LS. (eds) *Glutathione in Plant Growth, Development, and Stress Tolerance*. Springer, Cham, 2017.

MAHAPATRA, S. K., ARAKHA, M. Environmental and Health Impacts of Nano-enabled Agriculture: A Comprehensive Review. **Environmental Science & Technology Reviews**, 2021.

Marchiol, L. Nanofertilisers. An outlook of crop nutrition in the fourth agricultural revolution. **Italian Journal of Agronomy**, 14, 1367, 2019.

McDONALD, M. D.; KHAN, A. A. Acid scarification and protein synthesis during seed germination. **Agronomy Journal**, Madison, v. 2, n. 75, p. 111-114, 1983.

MISHRA, A., SAHA, B., & DEY, A. "Foliar application of amino acids enhances nutrient uptake efficiency in plants." **Environmental and Experimental Botany**, 179, 104189, 2021.

NAIR, R. M.; VARMA, R. Nanotechnology in agriculture: a review. **Journal of Nanoscience and Nanotechnology**, v. 10, n. 9, p. 5928-5945, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1166/jnn.2010.2599>. Acesso em: 12 nov. 2024.

O, E. Y., KIM, B. G., & JUNG, G. H. **Silver nanoparticles affect seed germination and root growth of crop plants**. *Applied Biological Chemistry*, 2015.

PINHEIRO, F. C; MEZACASA, Alteração do status fisiológico de plantas de soja induzido por nanopartículas de prata: avaliação via electroscopia de fluorescência. **ENEPEX - 8º ENEPE UFGD e 5º EPEX UEMS - ENCONTRO DE ENSINO PESQUISA E EXTENSÃO**, 2014.

RODRIGUES, V. V. Bioestimulantes a base de proteínas colagenosas complexadas em aplicação foliar e tratamento de sementes na cultura da soja. **Revista Brasileira De Ciências Agrárias**, 2023.

ROLIM, W. R., LIMA, B. A., GIRARDELLO, R., ET AL. Exposing plants to silver and gold nanoparticles: ibenefits, risks, and their role in long-term environmental sustainability. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, 8, 45-52, 2017.

S EL-HASSANIN, Adel et al. **Effect of some amino acids on the physiological characteristics of maize plant under soil salt stress conditions in egypt and tunisia**, v. 40, n. 1, 2018.

SANTOS JUNIOR, Hamilton Carvalho dos. **Germinação e atividade de enzimas antioxidativas na caracterização da tolerância de cultivares de soja ao estresse hídrico**. 2018.

SEDGHI, M.; HADI, M.K. EFFECT OF NANO ZINC OXIDE ON THE GERMINATION PARAMETERS OF SOYBEAN SEEDS UNDER DROUGHT STRESS. **Annals of West University of Timișoara, ser. Biology**, 2013, vol XVI(2), pp.73-78.

SHARON, M., CHOUDHARY, A. K., & KUMAR, R. Nanotechnology in agricultural diseases and food safety. **Journal of Phytology**, 2010.

SHARON, M., CHOUDHARY, A. K., & KUMAR, R. Nanotechnology in agricultural diseases and food safety. **Journal of Phytology**, 2010.

SILVA, Érica Natalia da Cruz e. **Germinação e crescimento de plantulas de Glycine max submetidas a concentrações tóxicas e subtóxicas de cádmio e o efeito protetor do bioestimulante acadian**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Chapecó, 2018. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/4495>. Acesso em: 10 mar. 2024.

SILVA, V. B., ALMEIDA-BEZERRA, J. W., BRITO, E. S., RIBEIRO, P. R. V., CORDEIRO, L. S., JÚNIOR, J. T. C., COSTA, J. G. M. & SILVA, M. A. P. Effect of decomposition of leaves of Azadirachta indica A. Juss. on germination and growth of Myracrodruon urundeuva Allemão. **South African Journal of Botany**, 142, 42-52,2021.

SINGH S.K., SINGH D.K., SINGH S.K.,VERMA M.L. Silver nanoparticles: A review of their applications and properties. **Journal of Nanobiotechnology**, 210-230, 2017.

SINGH, S., TIWARI A. K., BAJPAI A. , KHAN M.A., SINGH S. Nanoparticle-based nanofertilizers: A new approach for sustainable agriculture. **Science of the Total Environment**, 300-320, 2020.

SINHA A.K., SHARMA K., SINGH A.K., SINGH S.K. Zinc nanoparticles: Synthesis, properties and applications. **Advances in Colloid and Interface Science**, 300-311, 2017.

TEIXEIRA, W. F.; FAGAN, E. B. Adequação de doses de aminoácidos no tratamento de sementes de soja. **Cerrado Agrociências**, Patos de Minas v. 9, p.8-32, 2018.

UGANDHAR, P.; VASU, A. T.; CHAVALI, M. Smart materials in nanoscience and nanotechnology - An overview. **VFSTR Journal of STEM**, v. 1, p. 1-5, 2015.

USDA, disponível 6 de Abril de 2024, link: <https://fas.usda.gov/>

WANG, B.; ZHANG, Y.; MAO, Z.; YU, D.; GAO, C. Toxicity of ZnO nanoparticles to macrophages due to cell uptake and intracellular release of zinc ions. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, **Stevenson Ranch**, v. 14, n. 8, p. 5688-5696, 2014.

ZHANG, L.L.; JIANG, Y.H.; DING, Y.L.; POVEY, M.; YORK, D. Investigation into the antibacterial behavior of suspensions of ZnO nanoparticles (ZnO nanofluids). **Journal of Nanoparticle Research**, Dordrecht, v. 9, n. 3, p. 479-489, 2007.

Zhang, M., et al. "Nanoparticle-mediated delivery of nutrients for plants: a review." **Frontiers in Plant Science**, 8, 984, 2017.

4. CAPÍTULO II: USO DE MICROPARTÍCULAS DE ZINCO E NANOPARTÍCULAS DE PRATA ASSOCIADOS A AMINOÁCIDOS EM SEMENTES DE SOJA

RESUMO

RAMOS, Thomás Oehninger. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, agosto, 2024. **Uso de micropartículas de zinco e nanopartículas de prata associados a aminoácidos em sementes de soja.** Professor Orientador: Dr. Reginaldo Ferreira Santos. Co-orientador Dra. Luciene Kazue Tokura.

Frente aos desafios atuais da agricultura a adoção de novas tecnologias em especial de biofertilizantes a base de aminoácidos e nanotecnologia na cultura da soja, tem sido estudado como uma alternativa viável ao uso de defensivos agrícolas e fertilizantes, mais eficiente do ponto de vista agrônomo e ecológico. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do uso de diferentes doses nanopartículas de prata, micro partículas de zinco e bioestimulante experimentais em tratamento de sementes durante a fase vegetativa, reprodutiva e maturação. O experimento foi realizado na área experimental da AGROTEC, colônia nova, Corbélia, PR na safra 2023/2024. O experimento foi implantado no delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições. O trabalho envolveu a avaliação de sete tratamentos, com variação de doses (ml.kg⁻¹ de semente), de micropartículas de zinco e nanopartículas de prata isolados e associados a aminoácidos. Os tratamentos avaliados foram: sendo 2 tratamentos com nano partículas de prata (1,5 ml.kg⁻¹), na forma isolada e associada com aminoácidos (1,0 ml.kg⁻¹), 4 tratamentos a base de micro partículas de zinco, sendo três tratamentos isolados (0,75, 1,50 e 3,0 ml.kg⁻¹), 1 tratamento associado a aminoácidos (1,5 ml.kg⁻¹ de zinco e 1,0 ml.kg⁻¹ de prata) e Testemunha. Os resultados demonstraram que as doses de nanopartículas de prata de (1,5 ml.kg⁻¹) e de micropartículas de zinco (1,5 ml. kg⁻¹) associados a aminoácidos (1,0 ml.kg⁻¹) tiveram efeito significativo no incremento de população de plantas e altura quando associadas a aminoácidos.

Palavras-chaves: Aminoácidos, tratamentos de sementes, nanotecnologia e *Glycine max*.

"O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq) - Programa MAI/DAI"

ABSTRACT

RAMOS, Thomás Oehninger. State University of Western Paraná, 2022, august.
Use of zinc microparticles and silver nanoparticles associated with amino acids in soybean seeds. Professor advisor: Dr. Reginaldo Ferreira Santos. Co-advisor: Luciene Kazue Tokura

Soybeans crop have high global economic importance due to its significant contribution to animal and human food and biofuel production. In the face of the current challenges of agriculture, the adoption of new technologies, in particular amino acid-based biofertilizers and nanotechnology, has been studied as a viable alternative to the use of agrochemicals and fertilizers, more efficient from an agronomic and ecological point of view. The aim of this study was to evaluate the effect of the use of different doses of amino-particles associated with zinc and silver nanoparticles on the treatment of seeds during the vegetative, reproductive and maturation phase. The experiment was carried out in the experimental area of AGROTEC, PR nova, Corbelia, in the crop 2023/2024. The work involved the evaluation of the use of different doses of amino-particles associated with zinc and silver nanoparticles. The results showed that the nanoparticle doses had only a significant effect on the increase in plant population and height when they were combined with nanoparticles of zinc or silver and amino acids.

Keywords: Amino acids, seed treatments, nanotechnology and *Glycine max*.

"This study was financed in part by the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq) - MAI/DAI"

4.1. INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) desempenha um papel fundamental na balança comercial brasileira. De acordo com dados do U.S. Department of Agriculture (USDA, 2024), o Brasil é atualmente, o maior produtor mundial de soja. A expansão da cultura da soja nas últimas décadas, ganhou destaque como principal cultura em tamanho de área de plantio e impulsionou o setor agrícola brasileiro, contribuindo para o crescimento econômico do país. A soja é cultivada de norte a sul em diversas regiões do Brasil, com destaque para os estados do Paraná, Mato Grosso, Rio Grande do Sul e de Goiás. Além da exportação de soja, e seus derivados, como óleo e farelo, a soja tem um papel estratégico na produção do mercado interno principalmente na produção de biocombustíveis e alimentação animal.

O uso de aminoácidos na agricultura é relativamente recente, neste sentido, a busca por novas ferramentas tecnológicas voltadas para o manejo da agricultura tropical, através da análise dos desafios da agricultura com respostas baseadas em pesquisas, visa à obtenção de diferentes práticas e inovações para melhorar a eficiência da produção agrícola. Sabe-se que o desenvolvimento das culturas é controlado por fatores ecofisiológicos, genéticos e tratos culturais, culminando em respostas fisiológicas por parte das plantas. Desta forma, o uso de aminoácidos, ligados ou não à aplicação de nutrientes, tem-se intensificado em sistemas de produção de grãos, obtendo ótimos resultados nas lavouras. A utilização dessas substâncias aumenta de importância à medida que o potencial genético das culturas é elevado e os fatores limitantes ligados à nutrição mineral das plantas são mínimos. Nestas áreas, o produtor busca cada vez mais o ajuste fino de suas práticas com o principal objetivo a obtenção de picos produtivos e a melhoria da qualidade do grãos.

O desenvolvimento e busca por novas soluções baseadas em bioinsumos têm sido aprimorados e com uma seleção coordenada por diversas instituições de pesquisas. Portanto, as chances de sucesso são aumentadas e conseqüentemente o prazo para lançamento de um bioagente no mercado será reduzido, resultando em menores custos e com vantagens para toda a cadeia do agronegócio. Para tanto, se faz necessário uma equipe multidisciplinar envolvida no desenvolvimento de produtos (EMBRAPA, 2022).

Neste sentido, Teixeira (2018) ressalta que o uso de aminoácidos pode ser uma ferramenta viável para a melhoria do desenvolvimento inicial de características

bioquímicas e produtividade da soja, uma cultura de elevada importância econômica. Ainda segundo o mesmo autor, em seu estudo, observou-se que a aplicação de glutamato promoveu o aumento do índice de velocidade de emergência, metabolismo, antioxidante e produtividade das plantas, com incremento de 30% no índice de velocidade de emergência, em relação ao controle. A Fenilalanina promoveu incremento de massa de matéria seca e produtividade, enquanto a glicina elevou os valores de todos os parâmetros avaliados e reduziu o estresse das plantas. Com relação à produtividade, observou-se também que todos os tratamentos de sementes repercutiram no incremento dessa variável em relação à testemunha, sendo que o tratamento com fenilalanina proporcionou maior produtividade, com acréscimo de 72% de produtividade, em relação ao controle. Segundo Buchanan (2015) a fenilalanina, através de diferentes rotas metabólicas, participa da biossíntese de proteínas vitais que participam do metabolismo primário e secundário das plantas, no caso da glicina, participam da formação de proteínas estruturais que atuam na manutenção e formação de parede celular.

As pesquisas em nanotecnologia têm avançado em diversas áreas como: medicina, farmacêutica, cosmética, têxtil, automobilística e agrícola (AITKEN, 2007). Observa-se um crescimento do número de produtos comercialmente disponíveis nos últimos anos que fazem uso de nanomateriais em suas composições, tais como: Pesticidas, protetores solares, cosméticos, vestuário resistente à mancha, tintas automotivas e de revestimentos, artigos esportivos e aparelhos digitais. Os avanços na nanotecnologia têm levado ao desenvolvimento de diversas soluções que contenham nanomateriais, o que proporcionou um aumento na produção de diversos tipos de nanopartículas. As nanopartículas de prata e zinco têm sido estudadas de forma vasta, em grande parte, devido aos seus efeitos antimicrobianos e antifúngicos (SONDI, 2004). Estas propriedades proporcionam uma ampla variedade de aplicações comerciais das NPT de zinco e prata, refletindo em um aumento significativo de sua produção e da consequente redução de impacto ao meio ambiente (GOTTSCHALK, 2009).

Um aspecto de extrema importância na avaliação dos riscos das nanopartículas é compreender suas interações com as plantas e seu efeito sobre o ecossistema pertencente (PINHEIRO, 2014). Segundo Lajus (2020) o uso de nanopartículas de nutrientes aplicadas via tratamento de semente (TS) é considerada uma alternativa promissora para uma maior produtividade e redução dos custos de produção de forma

a auxiliar no sucesso e implantação da cultura e proporcionar maior capacidade em resistir ao estresse abiótico.

4.2. REVISÃO DE LITERATURA

4.2.1. Fertilizantes a base de aminoácidos

A história dos fertilizantes converge com a própria história da agricultura. Desde os primórdios da civilização, o homem buscava formas de aumentar a produtividade de suas plantações e garantir o sustento de suas comunidades. E foi justamente nessa busca que os fertilizantes surgiram, como uma forma de fornecer aos vegetais os nutrientes essenciais para um bom desenvolvimento. Registros do período Neolítico relatam as primeiras evidências do uso de fertilizantes, quando o homem iniciou a prática da agricultura. Nesse período, as cinzas provenientes de queimadas e o esterco de animais eram utilizados como fontes de nutrientes para as plantas. Civilizações como a romana antiga já demonstravam um conhecimento mais aprofundado sobre a importância da fertilização do solo. Diferentes tipos de fertilizantes orgânicos eram utilizados e comparados, buscando identificar os mais adequados para cada tipo de cultura (SILVA, 2010).

Mais adiante, a partir do século XIX, com o avanço da química, ocorreu uma verdadeira revolução na produção de fertilizantes. A descoberta dos elementos essenciais para o crescimento das plantas, como nitrogênio, fósforo e potássio, permitiu a criação de fertilizantes sintéticos mais eficientes e de fácil aplicação. A formulação de adubos de base NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) foi um marco na história da agricultura, possibilitando a produção de alimentos em larga escala e com maior qualidade nutricional (SOUZA, 2006).

Os fertilizantes à base de aminoácidos têm-se destacados na agricultura por suas diversas aplicações e benefícios para as plantas. Suas aplicações variam desde tratamentos de sementes, fertirrigação e fertilização foliar. Para o tratamento de sementes a aplicação de aminoácidos nas sementes promove uma germinação mais rápida e uniforme, além de aumentar a resistência das plântulas a doenças. Em relação a fertirrigação, a aplicação de aminoácidos via fertirrigação permite uma nutrição mais precisa e eficiente das plantas, garantindo um fornecimento contínuo de nutrientes. Quanto a fertilização foliar de aminoácidos é uma forma rápida e eficaz de

corrigir deficiências nutricionais e fornecer energia para as plantas em momentos críticos de seu desenvolvimento. Adicionalmente o uso de aminoácidos pode ser aplicado para fins de recuperação de plantas estressadas em eventos como geadas, seca ou ataque de pragas. A aplicação de aminoácidos pode auxiliar na recuperação das plantas, acelerando os processos de reparo e regeneração. Ao fornecerem aminoácidos prontos para serem absorvidos pelas plantas, esses fertilizantes desempenham um papel crucial em diversos processos fisiológicos, otimizando o desenvolvimento e a produtividade das culturas. Dentre os diversos benefícios pode-se citar: melhora da absorção de nutrientes, estímulo ao crescimento, aumento da resistência a estresses bióticos e abióticos, melhora qualitativa dos frutos, redução de perdas pós-colheita e redução do uso de outros fertilizantes. No quesito absorção de nutrientes os aminoácidos atuam como quelantes, facilitando a absorção de nutrientes minerais pelas raízes e folhas das plantas. Isso é especialmente importante em condições de estresse, como seca ou temperaturas extremas, quando a absorção de nutrientes pode ser comprometida. Quanto ao estímulo ao crescimento, os aminoácidos são os blocos construtores das proteínas e enzimas, essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Ao fornecer aminoácidos prontos, os fertilizantes aceleram esses processos, promovendo um desenvolvimento mais vigoroso e uniforme das culturas. Em relação a resistência a estresses, os aminoácidos ajudam as plantas a se adaptarem a condições adversas, como: seca, salinidade, temperaturas extremas e ataques de pragas e doenças. Eles fortalecem o sistema imunológico das plantas, aumentando sua resistência e tolerância a esses estresses. Quanto a melhora da qualidade dos frutos, os aminoácidos influenciam na qualidade dos frutos, aumentando o teor de açúcares, vitaminas e outros compostos bioativos. Além disso, contribuem para uma maior firmeza e melhor aparência dos frutos. Para a redução de perdas pós-colheita, os aminoácidos podem prolongar a vida útil dos frutos após a colheita, reduzindo as perdas por doenças e deterioração. Por fim a redução do uso de outros fertilizantes ocorre ao melhorar a eficiência de absorção de nutrientes, os fertilizantes à base de aminoácidos podem reduzir a necessidade de aplicação de outros fertilizantes, como os minerais (SANTOS, 2015; SILVA, 2013).

Desta forma os fertilizantes à base de aminoácidos são uma ferramenta valiosa para os agricultores, oferecendo uma série de benefícios para as plantas e para o meio ambiente. Ao otimizar a nutrição e o desenvolvimento das culturas, esses

fertilizantes contribuem para o aumento da produtividade e da qualidade dos alimentos, além de promover práticas agrícolas mais sustentáveis.

4.2.2. Uso de aminoácidos em tratamento de sementes

Um estudo realizado por Gonçalves et al. (2020) mostrou que sementes de soja tratadas com uma combinação de aminoácidos, como prolina e glicina betaína, apresentaram maior resistência ao estresse hídrico, resultando em uma taxa de mortalidade 20% menor em comparação com a testemunha.

No que diz respeito à produtividade, a aplicação de aminoácidos no tratamento de sementes pode aumentar tanto a biomassa quanto a produção de frutos nas culturas. Isso contribui para um estabelecimento inicial e desenvolvimento mais equilibrado e acelerado da cultura, maximizando seu potencial produtivo (Abdel-Basset, 2019; Ahmad, 2010; El-Hamdaoui, 2014; Hitz, 2000; Kumar, 2015; Matthews, 1999).

Os aminoácidos também desempenham um papel crucial no crescimento e desenvolvimento das plantas ao serem utilizados como componentes essenciais no tratamento de sementes, visando aprimorar a germinação, vitalidade e performance das plantações. Pesquisas indicam que o uso de aminoácidos devido ao seu papel na produção de proteínas e no metabolismo das plantas podem trazer várias vantagens para as culturas tais como: maior velocidade de emergência, redução no número de plantas dominadas, incremento no crescimento do sistema radicular e aumento na produtividade de grãos (Espinoza et al., 2015; Coelho, 2011; Kikuti, 2005).

A prolina, por exemplo, é reconhecida por sua capacidade de atuar como protetor osmótico, acumulando-se nos tecidos vegetais em condições de estresse hídrico e salino. A utilização deste aminoácido no tratamento de sementes pode auxiliar na melhoria da resistência das plantas durante a germinação, a prolina atua como um osmoprotetor, auxiliando a semente na manutenção de seu turgor mesmo em condições de baixa disponibilidade de água. Essa proteção inicial é fundamental para garantir um desenvolvimento radicular eficiente e um estabelecimento vigoroso da planta. A prolina ajuda a estabilizar as membranas celulares proteger proteínas e enzimas e manter o metabolismo celular em funcionamento mesmo sob condições de estresse. Além disso, ela tem função antioxidante, reduzindo o acúmulo de espécies

reativas de oxigênio (ROS), que podem prejudicar o desenvolvimento inicial das plântulas (Ashraf e Foolad, 2007; Szabados, 2010; Zulfiqar, 2023).

4.2.3. Fertilizantes nanoparticulados

Os fertilizantes nanoparticulados são uma nova classe de fertilizantes e são considerados como a quarta revolução da agricultura, estes utilizam nanopartículas para melhorar a eficiência na entrega de nutrientes às plantas.

Os fertilizantes de base nano tecnológica são projetados para proporcionar uma liberação controlada de nutrientes, aumentando a absorção e a eficácia em comparação com os fertilizantes convencionais. Estes se diferenciam dos fertilizantes convencionais por seu tamanho de partícula, solubilidade, liberação controlada de nutrientes, redução de perdas e interação com as células vegetais. Em relação ao tamanho das partículas, as nanopartículas por definição têm um tamanho inferior a 100 nanômetros, fato que ocasiona em uma maior área superficial. Essa escala diminuta permite que os fertilizantes sejam mais facilmente absorvidos pelas raízes das plantas. Quanto a solubilidade, muitas vezes, os fertilizantes nanoparticulados têm maior solubilidade em água, o que facilita a disponibilização de nutrientes. No quesito liberação controlada de nutrientes os fertilizantes nanoparticulados podem ser projetados para liberar nutrientes de maneira controlada ao longo do tempo, reduzindo as perdas por lixiviação e aumentando a eficácia do uso. Em relação a redução de perdas ocorre devido à sua estrutura, eles podem minimizar as perdas de nutrientes, como a volatilização ou lixiviação, que são comuns com fertilizantes convencionais. As nanopartículas podem ser utilizadas para encapsular nutrientes, protegê-los da degradação e garantir sua liberação gradual no solo. Além disso, podem ser utilizadas para transportar nutrientes diretamente para as células das plantas, aumentando a eficiência da absorção (Kag, 2024; Nair, 2010)). Adicionalmente os fertilizantes nanoparticulados podem ser considerados materiais inteligentes por reagirem a mudanças em sua forma ou comportamento através de influências externas, como pressão, temperatura, umidade, pH e campos elétricos e magnéticos (Yuhandhar et al.,2015).

Os fertilizantes convencionais são amplamente classificados em sais inorgânicos e produtos micronizados. Os sais inorgânicos, como nitrato de amônio, sulfato de potássio e superfosfato simples, são compostos altamente solúveis em

água, o que facilita sua aplicação, mas também aumenta o risco de lixiviação para lençóis freáticos (Brady & Weil, 2017). A micronização, processo que reduz o tamanho das partículas de fertilizantes convencionais, visa aumentar a área de contato com o solo e, potencialmente, a disponibilidade de nutrientes. No entanto, a alta solubilidade inerente a muitos fertilizantes minerais, permanece um desafio, podendo levar à perda de nutrientes por volatilização ou fixação no solo, especialmente quando a liberação não está sincronizada com a demanda das plantas (Tisdale et al., 1985).

Neste sentido, os nanofertilizantes quando comparados aos fertilizantes convencionais se diferenciam em suas características físicas e também na maneira como esses fertilizantes interagem com o solo e as plantas. Os fertilizantes nanoparticulados atuam na melhora da eficiência no uso de nutrientes (NUE), podendo aumentar a biodisponibilidade principalmente de micronutrientes, que são frequentemente insolúveis e de difícil absorção pelas plantas. Portanto, o uso desta nova tecnologia pode ajudar na melhoria da sincronia de liberação de nutrientes, contribuindo para um crescimento e desenvolvimento das culturas (Marchiol, 2019). A tecnologia dos nanofertilizantes permite que uma quantidade menor de nutriente atinja a planta de forma mais eficaz, utilizando processos como a absorção foliar ou a absorção radicular facilitada. Além disso, alguns fertilizantes de baixa concentração podem conter elementos que atuam em sinergia com outros nutrientes, aumentando a eficiência global da adubação. Esses fertilizantes podem ser projetados para liberar nutrientes de forma lenta e controlada, prolongando a disponibilidade desses nutrientes no solo e reduzindo a necessidade de aplicações frequentes. Adicionalmente, as nanopartículas têm uma área de superfície maior em relação ao seu volume, o que aumenta a interação com as raízes das plantas e melhora a absorção de nutrientes. Por fim, como consequência da utilização de nanofertilizantes, ocorre uma potencial redução de custos devido ao emprego de fertilizantes com menor concentração e uma maior sustentabilidade em relação a utilização eficiente de fertilizantes com concentrações menores que pode contribuir para práticas agrícolas mais sustentáveis, reduzindo a poluição do solo e da água causada pela lixiviação de nutrientes (Gogos, 2012; Bafakeeh, 2019; Zhang, 2017).

A pesquisa na agricultura tem explorado o uso da nanotecnologia para melhorar a produtividade agrícola, a absorção de nutrientes pelas plantas, a qualidade

dos alimentos e no controle de pragas. Estudos recentes indicam que fertilizantes de liberação controlada e nutrientes encapsulados em nanomateriais, como nanopartículas de óxidos de zinco, ferro, manganês e cobre, podem aumentar o rendimento das culturas e a eficiência de uso de nutrientes quando aplicados ao solo ou às folhas (Imtiaz, 2010; Yuvaraj, 2014; Bandyopadhyay, 2014).

4.2.4. Uso de Nanopartículas de zinco e prata em tratamento de sementes

A utilização de nanopartículas de nutrientes aplicadas por meio do tratamento de sementes é vista como uma opção altamente promissora para melhorar a produtividade e, ao mesmo tempo, reduzir os custos de produção. Com isso, contribui para o desenvolvimento inicial, sucesso e estabelecimento das culturas, além de aumentar a capacidade de resistência ao estresse ambiental (Lajus, 2020).

Além dos benefícios para a germinação, as micro partículas de zinco também desempenham um papel fundamental na proteção das plantas contra patógenos. De acordo com um estudo realizado por Dimkpa et al. (2013), as micro partículas de zinco apresentam propriedades antimicrobianas que podem proteger as sementes contra infecções fúngicas e bacterianas. Os resultados indicam que essa característica antimicrobiana pode reduzir a incidência de doenças nas fases iniciais do desenvolvimento da planta, possivelmente diminuindo a necessidade do uso de agroquímicos. Adicionalmente elas podem gerar espécies reativas de oxigênio (EROs) quando expostas à luz ou a um ambiente úmido, que danificam estruturas celulares de fungos e bactérias. Essas EROs podem causar estresse oxidativo nas células patogênicas, levando à morte celular. Além disso, pode interferir na germinação de esporos patogênicos, prevenindo infecções que podem ocorrer durante a fase inicial de desenvolvimento da planta. O zinco é um micronutriente essencial que participa de diversas vias metabólicas. Quando as sementes são tratadas com micro ou nanopartículas de Zn, elas podem ativar respostas de defesa nas plantas, aumentando a produção de triptofano e compostos fitotóxicos que inibem patógenos (Mishar, 2020; Mahmood, 2021; Gupt, 2019; Khan, 2019).

Adicionalmente, as micro partículas de zinco desempenham um papel fundamental ao suprir deficiências deste micronutriente nas plantações. O zinco é essencial para várias funções importantes no metabolismo das plantas, incluindo síntese proteica, regulação do crescimento e desenvolvimento, assim como

resistência ao estresse. Raliya et al. (2016) estudaram os impactos das ZnNPs em várias regiões agrícolas, observando melhorias na germinação de sementes, crescimento das raízes e vitalidade das plantas tratadas com ZnNPs em comparação com os fertilizantes de zinco convencionais. As ZnNPs demonstraram ser mais eficazes na liberação controlada e eficiente de zinco para as plantas, promovendo assim um uso mais sustentável dos fertilizantes.

A utilização de nanopartículas de prata (NPs de prata), no tratamento das sementes, tem surgido como uma tecnologia promissora na agricultura contemporânea. Esse interesse significativo é motivado por suas propriedades antimicrobianas, capacidade de estimular o crescimento das plantas e potencial para substituir produtos químicos convencionais. As nanopartículas de prata são reconhecidas por suas notáveis propriedades antimicrobianas, as quais têm sido exploradas para proteger as sementes contra patógenos prejudiciais. As NPs de prata interagem com os componentes da membrana celular bacteriana, causando danos e desestabilização. Essa interação pode levar à perda de integridade da membrana, permitindo a entrada de íons e moléculas tóxicas para a célula, resultando em sua morte. Além disso, as NPs de prata podem induzir a produção de EROs dentro das células bacterianas. Essas espécies altamente reativas danificam proteínas, lipídios e ácidos nucleicos, levando à morte celular. Adicionalmente, as NPs de prata podem se ligar a grupos sulfidríla de enzimas essenciais para o metabolismo bacteriano, inibindo sua função e comprometendo o crescimento e a sobrevivência dos microrganismos. Por fim outra atuação ocorre pela penetração nas células bacterianas e interação com o DNA, causando danos e mutações que levam à morte celular ou à perda da capacidade de replicação (Salleh, 2020).

Conforme mencionado por Rai et al. (2012), as NPs de prata demonstram alta eficácia contra uma variedade extensa de patógenos fitopatogênicos, incluindo fungos e bactérias. Essas propriedades são atribuídas à capacidade das NPs de prata em liberar íons de prata, os quais podem interagir com proteínas e ácidos nucleicos dos microrganismos, prejudicando suas funções vitais e resultando na morte celular. Além das propriedades antimicrobianas, pesquisas indicam que as NPs de prata podem estimular o crescimento das plantações.

Em vista do exposto, o objetivo deste trabalho é desenvolver um biofertilizante para tratamento de sementes em soja e avaliar o desempenho de

forma isolada de nanopartículas de prata e micropartículas de zinco e associados a matriz de aminoácidos.

4.3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na safra de 2023/2024, na área experimental da AGROTEC, Colônia Nova, Corbélia, PR o qual está situado 24°46'18" de latitude S e 53°13'17" de longitude W e 639 m de altitude. A região possui clima subtropical úmido. É caracterizado como clima de tipo Cfa – segundo Köppen, com precipitação média anual de 1.800 a 2.000 mm, e temperatura média de 20 a 21°C. Conforme observado na figura 1, observa-se um regime de precipitação pluviométrica para o período.

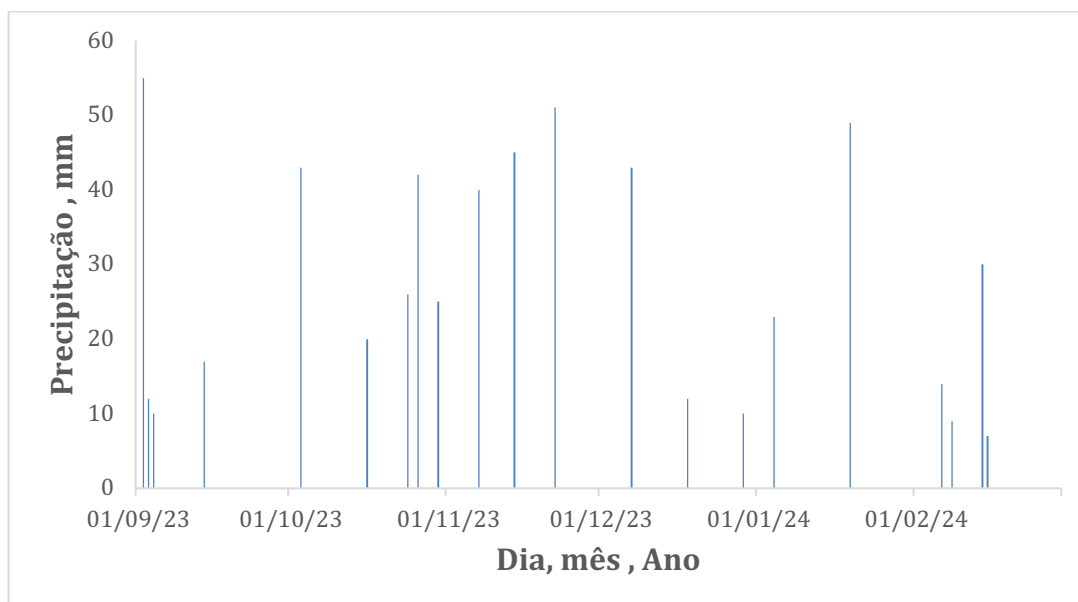


Figura 1 – Dados de precipitação (mm) durante o período experimental de cultivo da cultura da soja na safra 2023/2024.

As sementes de soja utilizadas foram a cultivar Brasmax Zeus IPRO, segundo o fabricante (BRASMAX, 2024) tem grupo de maturação 5.5, resistência ao acamamento e peso médio de mil grãos (PMS) de 209 g. A adubação utilizada foi de 270 kg ha⁻¹ de adubo comercial com a fórmula 00.20.20, adubação esta comumente utilizada na região. Foi realizada a amostragem de solo na profundidade de 0 a 20 centímetro, na tabela 1 pode ser observado o resultado da caracterização química da amostragem realizada.

Tabela 1 - Caracterização química do solo

PROF (cm)	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC
	-----cmolc.dm ³ -1-----					
	--					
00-20	0	5,92	0,61	2,98	1,02	10,54
	pH	Corg	P	Zn	V	
	CaCl ₂	(g dm ³)	(mg.dm ³)	mg. dm ³	%	
	5,01	15,9	29,89	6,56	43,81	

Fonte: Pavan et al. (1992).

O aminoácido utilizado nos tratamentos 2 e 3 (Tabela 2) contém em sua composição, uma concentração de 48% de aminoácidos, oriundos de proteína hidrolizada de origem animal, distribuída em: 2,27% de ácido aspártico, 4,66% ácido glutâmico, 0,55% serina, 11,50% glicina, 0,27% histidina, 0,22% treonina, 2,03% arginina, 4,40% alanina, 6,73% prolina, 0,33% tirosina, 1,11% valina, 0,40% de metionina, 0,01% cistina e cisteína, 0,59% isoleucina, 1,43% leucina, 0,89% fenilalanina, 1,64% lisina, 4,69% hidroxiprolina e 1,00% ornitina.

A nanopartícula de zinco na forma de óxido de zinco foi utilizada na concentração de 10% com 220 nanômetros e nanopartículas de prata metálica na concentração de 1000 ppm com 5 a 10 nanômetros. Nas sementes com aplicação de aminoácidos e nanopartículas, foram adicionados 1000 mL de água para cada 100 kg de sementes.

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), com a aplicação de aminoácidos, nanopartículas de prata e zinco para o tratamento das sementes, utilizando sete tratamentos, sendo um tratamento representado pela testemunha, com quatro repetições para cada tratamento. As parcelas de cada tratamento foram constituídas por cinco linhas da cultura da soja espaçadas de 0,45 m com 12 m de comprimento. Os tratamentos avaliados podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 3 - Caracterização dos tratamentos utilizados nas sementes de soja

Tratamento	Descrição
T1	Testemunha (Controle)
T2	Aplicação de 1,00 mL de aminoácidos e 1,50 mL de nanopartículas de prata
T3	Aplicação de 1,00 mL de aminoácidos e 1,50 mL de nanopartículas de zinco
T4	Sementes com aplicação de 1,50 mL de nanopartículas de prata
T5	Sementes com aplicação de 0,75 mL de nanopartículas de zinco
T6	Sementes com aplicação de 1,50 mL de nanopartículas de zinco
T7	Sementes com aplicação de 3,00 mL de nanopartículas de zinco

aplicação em mL por kg de semente

Os tratamentos foram realizados no interior de um recipiente plástico com capacidade de 20 litros, foram adicionados os tratamentos juntamente com a água e agitado por um período de dois minutos. Após 48 horas da aplicação dos tratamentos foi realizado a semeadura da soja com uma população de 16,5 plantas por metro linear, totalizando uma população inicial de 366 mil plantas por hectare. As parcelas foram dimensionadas com 12 metros de comprimento por 1,35 metros de largura, ocupando uma área de 16,2 metros quadrados, para avaliação e coleta de dados foi descontada a área de bordadura e considerada a área útil de 13,5 metros quadrados.

As avaliações foram realizadas nos seguintes estágios fenológicos: estágio vegetativo (V6), reprodutivo (R5) e colheita. Foram avaliadas a populações de plantas por hectare (Stand), altura de plantas e produtividade. Para a avaliação de stand foram realizadas contagem de plantas em 3 amostragens de 5 metros linear, perfazendo um total de 15 metros linear no estágio vegetativo (V6). Para a avaliação de altura de plantas foram realizadas amostragem no estágio reprodutivo (R5) de quatro plantas por parcela. A produtividade foi avaliada no momento da colheita (R8) através da pesagem de área útil da parcela e avaliação com correção de peso líquido conforme umidade corrigida (14%) de grãos aferida por meio de coleta de uma amostra composta, o peso corrigido foi utilizado para estimar a produtividade por hectare conforme área da parcela.

Os dados coletados a campo, foram submetidos à análise de variância, e a comparação das médias analisadas pelo teste de comparação de média Scott-Knott (1974), ($p \leq 0,05$) a 5% de significância, por meio do programa estatístico Sisvar.

4.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na caracterização inicial de população de plantas (STAND), realizada na fase vegetativa da soja (V7), os valores médios obtidos foram de 270 a 303 mil plantas por hectare. Pelos resultados, indicados na tabela 2, é possível observar que para os testes de STAND, foram identificadas diferenças significativas ($p \geq 0,05$) para os efeitos de doses com incremento em população de plantas. Isto pode ser explicado pela ação da matriz de aminoácidos utilizada que pode ter potencializado a ação micro e nano compostos utilizados em tratamento de sementes. Adicionalmente devido ao alto teor de zinco no solo associado aos aminoácidos, a ação das micro partículas de zinco

pode ter potencializado a ação da promoção do triptofano e indireta na produção de auxina (Buchanan,2015).

A determinação de altura de plantas no estágio reprodutivo (R5) apresentaram os valores médios de 69 a 79 cm de altura por planta, foram identificadas diferenças significativas ($p \geq 0,05$) para os efeitos de doses. Para a determinação de produtividade, na maturação (R8) os valores médios foram de 4509 a 4780 kg ha⁻¹. Não foram identificadas diferenças significadas ($p \geq 0,05$) para os efeitos de doses. Esses resultados podem ser atribuídos ao bom regime de chuvas no período (figura 1), a alta fertilidade de zinco e fósforo e ao pH do solo (Tabela 1) que privilegiou a absorção micronutrientes pela planta em especial o zinco (Malavolta, 1980).

Tabela 2 - O resumo das análises de variância para avaliação de produtividade (PROD), altura de plantas (ALT) e população de mil plantas por hectare (STAND)

FV	GL	QM		
		Produtividade	Altura	Stand
Tratamento	6	341,9 ^{NS}	45,89*	490,3*
Bloco	3	14,58	75,69	135,89
Resíduo	18	35,96	9,18	108,57
Média geral:		4576,2	73,58	283,34
CV (%)		7,88	4,12	3,68

^{NS}: Não houve diferença significativas entre as médias dos tratamentos, pelo de teste F, ao nível de 5% de probabilidade. *: Houve diferença significativas entre as médias dos tratamentos, pelo de teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

Para o componente de rendimento produtividade, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 3). Por outro lado, Soares et al. (2016) e Teixeira et al. (2018) observaram que o uso de aminoácidos em tratamento de sementes de soja trouxe incremento na produtividade e matéria seca. Este fato pode ser explicado pela diferença na composição e concentração da matriz de aminoácidos utilizados. Adicionalmente Soares et al. (2016) observaram a redução do estresse fisiológico das plantas quando submetidas a tratamento de sementes com aminoácidos. Por sua vez, Teixeira et al. (2019) observaram que plantas submetidas a tratamento de sementes com glutamato em condições de ausência de estresse hídrico, observou-se aumento de matéria seca em relação ao controle. Por outro lado, para Castro e Vieira (2001), o uso de bioestimulantes na agricultura, embora sua utilização ainda não seja uma prática rotineira em culturas que não atingiram alto nível

tecnológico, seja ele de forma sintética ou através de precursores enzimáticos de base orgânica, tem se mostrado grande potencial para o incremento da produtividade. Estudo conduzido por Ferrazza (2010) avaliando uso de alga e aminoácidos em tratamento de sementes, obteve incremento tanto na produtividade como no peso de 1000 grãos, o mesmo não foi observado nos tratamentos quando aplicado aminoácido e extrato de alga de forma foliar.

Uma explicação plausível para a falta de resposta significativa dos tratamentos em relação a produtividade é a disponibilidade adequada de nutrientes, em especial o zinco, conforme observado na tabela 1. De acordo com Ferreira et al (2007) é recomendado conhecer o efeito real de ação do bioestimulante no desenvolvimento das plantas e verificar que alguns bioestimulantes são capazes de desfavorecer ou reduzir a absorção de nutrientes pelas plantas.

O uso isolado de nanopartículas de zinco e prata no tratamento de sementes apresentou resultado diferente do esperado, pois não apresentou incremento de produtividade, altura e stand (Tabela 3). Esses resultados diferiram dos encontrados por Sedghi (2013) que observou para a aplicação do composto nano zinco um incremento de massa seca. Estes resultados divergentes podem se justificar pela condição climática no momento da condução dos trabalhos. Por outro lado, resultados apontados por Pinheiro (2014) não observou diferença no crescimento e germinação das plantas, porém constatado efeito fisiológico de fluorescência da clorofila e alterações no processo de transpiração foliar.

Neste sentido Yang (2005) e Lee (2008) observaram que a interação de nanopartículas e plantas podem inibir o crescimento e a germinação de plantas. Adicionalmente, trabalhos conduzidos por Lin (2008) com plantas hidropônicas (*Lolium perenne*) observou-se que nanopartículas de ZnO de 20 nm, diminuiu a produção de biomassa e provocou um alongamento da raiz (LIN, 2008).

Tabela 3 - Desdobramento das médias das variáveis Produtividade (PROD), altura (ALT) e população de plantas por hectare (STAND) de semente de soja, sem envelhecimento, com sete doses diferentes de aminoácidos e nanopartículas de zinco e prata.

Aminoácido	Doses		Produtividade	Altura	Stand
	Nano Prata	Nano Zinco			
0	0	0	4647,6 a	69,22 b	280 b

100 mL	1,50 mL	0	4662 a	77,37 a	303,7 a
100 mL	0	1,50 mL	4194 a	77,37 a	288,5 b
0	1,50 mL	0	4780,2 a	75,69 a	285,5 b
0	0	0,75 mL	4779 a	74 a	270,37 b
0	0	1,50 mL	4460,4 a	70,75 b	282,22 b
0	0	3,00 mL	4509 a	70,69 b	272,96 b

Doses referente a mL por kg de semente tratada. Médias de tratamentos seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de comparação de média Scott-Knott (1974), ($p \leq 0,05$) de probabilidade.

O uso de aminoácidos em associação com nanopartículas de prata e de zinco $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$ de semente proporcionou o melhor resultado em altura e stand em relação aos demais tratamentos (Tabela 3). Esse composto de aminoácidos utilizado por contar em sua composição por diferentes tipos de aminoácidos com destaque em sua maior participação da prolina, ácido glutâmico e glicina atuam, principalmente, com a função principal de aumentar a resistência, detoxificação e defesa por meio da produção de compostos secundários, como alcaloides, flavonoides e fenilpropanoides (TAIZ e ZEIGER, 2013). Em contrapartida, os resultados deste estudo contrastam com os achados de Dorr et al. (2020) e Vilela (2023), que não observaram incrementos significativos em características agrônômicas com a aplicação de aminoácidos no tratamento de sementes de soja. Contudo, é fundamental considerar que a concentração e a composição dos aminoácidos aplicados podem exercer uma influência decisiva, ativando diferentes vias metabólicas que afetam a resposta fisiológica das plantas. Por outro lado, o trabalho de Naibo (2015) demonstrou que a aplicação isolada de aminoácidos no tratamento de sementes de soja promoveu aumento na altura das plantas, na produtividade e na qualidade nutricional dos grãos. Além disso, Albuquerque et al. (2005), ao investigar o uso de aminoácidos livres em videiras, observaram um crescimento expressivo das mudas após sucessivas pulverizações foliares com produtos contendo esses compostos em sua formulação. Esses resultados destacam a complexidade das respostas metabólicas associadas à aplicação de aminoácidos, dependendo do contexto e das condições específicas de cultivo.

4.5. CONCLUSÕES

A aplicação de micro partículas de zinco e nanopartículas prata associada a aminoácidos no tratamento de sementes melhora o desenvolvimento e características fitotécnicas para a cultura da soja.

A aplicação de doses isoladas de nanopartículas de zinco e prata em tratamento de soja não proporcionou benefícios para o desenvolvimento da cultura.

4.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-BASSET, A. M. Amino acids in plant nutrition and stress management. **Plant Signaling & Behavior**, 14(2), e1535605, 2019.

AHMAD, P., ASHRAF, M., & MAHMOOD, T. Role of amino acids in plant growth and development. **African Journal of Biotechnology**, 9(48), 8185-8197, 2010.

AITKEN, R.J.; HANKIN, S.M.; TRAN, C.L.; DONALDSON, K.; STONE, V.;

ALBUQUERQUE, T.C.S; et al. Efeitos da Aplicação foliar de Aminoácidos na qualidade de Uvas Benitaka. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, 4, 2002, Rio de Janeiro, **Resumos**. Rio de Janeiro SBCS p. 549-554, 2005.

ASHRAF, M., & FOOLAD, M. R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, 59(2), 206-216, 2007.

BANDYOPADHYAY S, GHOSH K, VARADACHARI C. Multimicronutrient slow-release fertilizer of zinc, iron, manganese, and copper. *Int. J. Chem. Eng.* Article ID 327153. doi:[10.1155/2014/327153](https://doi.org/10.1155/2014/327153).7p, 2014.

BRADY, N. C., WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Bookman, 2017.

BRASMAX, disponível 5 de Abril de 2024, link:

<https://www.brasmaxgenetica.com.br/blog/brasmax-zeus/>

case study on E-coli as a model for Gram-negative bacteria. **Journal of Colloid and**

CASTRO, Paulo RC; VIEIRA, Elvis Lima. **Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical**. Agropecuária, 2001.

CB01099, Defra, London, 2007.

COELHO, A. M. **Eficiência agronômica de compostos de aminoácidos aplicados nas sementes e em pulverização foliar na cultura do milho safrinha.** 2011.

CUMPSON, P.; JOHNSTONE, J.; CHAUDHRY, Q.; CASH, S. REFNANO: **Reference** DASH, A.; SINGH, A. P.; CHAUDHARY, B. R.; SINGH, S. K.; DASH, D. Effect of silver nanoparticles on growth of eukaryotic green algae. **Nano-Micro Letters**, v. 4, n.3, p. 158-165, 2012.

DIMKPA, C. O., MCLEAN, J. E., BRITT, D. W., & ANDERSON, A. J. Antifungal activity of ZnO nanoparticles and Zn ions toward *Fusarium graminearum*, and enhancement of the antibacterial effect by Zn ions. **Journal of Applied Microbiology**, 115(4), 1249-1260, 2013.

DORR, C. S; ALMEIDA, T. L. Efeito do vigor e tratamento de sementes de soja com aminoácidos no desempenho das sementes produzidas. **Revista Científica Rural, Bagé-RS**, v. 22, n. 1, ano 2020.

EL-HAMDAOUI, A., & LUTTS, S. Amino acids as a potential biostimulant for sustainable agriculture. **Frontiers in Plant Science**, 5, 124, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Bioinsumos na cultura da soja.** Brasília, v.1, n.1, p. 25-473, 2022.

ERTANI, A., PIZZEGHELLO, D., FRANCIOSO, O., TINTI, A., NARDI, S., & BAGLIERI, A. Biological activity of vegetal extracts containing phenols on plant growth. **Agriculture**, 1(3), 99-108, 2009.

ESPINOZA, L. ET AL., 2015. Amino acids in plant responses to abiotic stress. In: **Plant Responses to Drought Stress.** Springer, pp. 1-7, 2015.

FERRAZZA, D.; MOURÃO, A. Uso de extrato de algas no tratamento de semente e aplicação foliar, na cultura da soja. **Cultivando o saber**, v.3, n.2, p.48-57, 2010.

GOGOS A, Knauer K, Bucheli TD. Nanomaterials in plant protection and fertilisation: Current state, foreseen applications, and research priorities. **J. Agr. Food Chem.** 60:9781-92, 2012.

GONÇALVES, R., & ALMEIDA, P. "Enhancing Drought Tolerance in Soybean through Amino Acid Seed Treatment." **Plant Physiology Reports**, 45(3), 213-224, 2020.

GOTTSCHALK, F.; SONDERER, T.; SCHOLZ, R. W.; NOWACK, B. Modeled environmental concentrations of engineered nanomaterials (TiO₂, ZnO, Ag, CNT, Fullerenes) for Different Regions. **Environmental Science & Technology**, v. 43, n. 24, p.9216-9222, 2009.

GUPTA, A. et al. Zinc oxide nanoparticles: synthesis, properties and applications in agriculture. *Journal of Environmental Management*, v. 230, p. 325-335, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.036>. Acesso em: 12 nov. 2024.

HITZ, W. D & HANSON, A. D. Amino acids in plant physiology and metabolism . In: Biochemistry and molecular biology of plants. (pp. 913-958). **American Society of Plant Biologists**, 2000.

IMTIAZ M, RASHID A, KHAN P, MEMON MY, ASLAM M. The role of micronutrients in crop production and human health. **Pak J Bot** 42: 2565–2578, 2010.

Interface Science, v. 275, n. 1, p. 177-182, 2004.

KHAN, Y. et al. Synergistic action of zinc oxide nanoparticles and plant growth-promoting rhizobacteria in enhancing growth and disease resistance in plants. *Journal of Plant Pathology*, v. 101, n. 4, p. 11-25, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42161-019-00185-4>. Acesso em: 12 nov. 2024.

KIKUTI, HAMILTON, and ROBERTO TETSUO TANAKA. "Produtividade e qualidade de sementes de feijão em função da aplicação de aminoácidos e nutrientes." **National Congress of Bean Research**. 2005.

KUMAR, A., KUMAR, R., & SINGH, J. Foliar application of amino acids in horticultural crops. . **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, 4(3), 222-228, 2015.

LAJUS, C. R. Aspectos agronômicos em híbridos de milho submetidos ao tratamento de sementes com nanopartículas de cobre. **XLI International Sodebras Congress**, V. 15, 2020.

LEE, W. M.; AN, Y. J.; YOON, H.; KWEON, H. S. Toxicity and bioavailability of copper nanoparticles to the terrestrial plants mung bean (*Phaseolus radiatus*) and wheat (*Triticum aestivum*): Plant agar test for water-insoluble nanoparticles. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 27, n. 9, p. 1915-1921, 2008.

LIN, D.; XING, B. Root uptake and phytotoxicity of ZnO nanoparticles. **Environmental Science & Technology**, v. 42, p. 5580–5585, 2008.

MAHMOOD, T. et al. "ZnO Nanoparticles as Antifungal Agents Against Plant Pathogens." **Materials Science and Engineering: C**, 118, 111543, 2021.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo : Agronômica Ceres, 1980. 251p.

materials for engineered nanoparticle toxicology and metrology. Final report on Project

MATTHEWS, B. F. Amino acid metabolism and its role in plant growth and development. **Plant Physiology**, 120(2), 353-357, 1999.

MISHRA, A. et al. "Role of zinc nanoparticles in plant growth and development: A review." **Journal of Nanobiotechnology**, 18(1), 1-15, 2020.

NAIBO; G; ALVES; M. V.; ET AL. Efeito de Aminoácidos e Micronutrientes no tratamento de Sementes sobre o desenvolvimento da Soja. **XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do solo**, 2015.

PINHEIRO, F. C; MEZACASA, Alteração do status fisiológico de plantas de soja induzido por nanopartículas de prata: avaliação via electroscopia de fluorescencia. **ENEPEX - 8º ENEPE UFGD e 5º EPEX UEMS - ENCONTRO DE ENSINO PESQUISA E EXTENSÃO**, 2014.

RAI, M., YADAV, A., & GADE, A. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. **Biotechnology Advances**, 27(1), 76-83, 2012.

RALIYA, R., et al. **Effects of Engineered Zinc Nanoparticles on the Growth, Development and Biochemical Parameters of Soybean (Glycine max L.)**. Journal of Plant Science, 2016.

RODRIGUES, V. V. **Avaliação do desenvolvimento inicial da cultura da soja, utilizando aminoácidos**. Dissertação (mestrado - programa de pós-graduação em ciências agrárias) - Universidade Federal de São João del-Rei, p. 37. 2023.

RODRIGUES, V. V. **Bioestimulantes a base de proteínas colagenosas complexadas em aplicação foliar e tratamento de sementes na cultura da soja**. Dissertação (mestrado - programa de pós-graduação em ciências agrárias) - Universidade Federal de São João del-Rei, p. 37. 2023.

SALLEH, Atiqah et al. The potential of silver nanoparticles for antiviral and antibacterial applications: A mechanism of action. **Nanomaterials**, v. 10, n. 8, p. 1566, 2020.

SANTOS, M. A. **Efeito da aplicação de aminoácidos na tolerância de plantas de milho ao estresse hídrico**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.

SEDGHI, M.; HADI, M.K. Effect of nano zinc oxide on the germination parameters of soybean seeds under drought stress. **Annals of West University of Timișoara**, ser. Biology, 2013, vol XVI (2), pp.73-78.

SILVA, J. A. et al. Efeito da aplicação foliar de aminoácidos na produtividade e qualidade de tomate. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 2, p. 321-328, 2013.

SILVA, J. A. **Fertilizantes e adubação: princípios e práticas**. Viçosa: UFV, 2010.

SOARES, L. H; NETO, D. D. Soybean seed treatment with micronutrients, hormones and amino acids on physiological characteristics of plants. **African Journal of Agricultural Research**, doi: 10.5897/AJAR2016.11229, 2016.

SONDI, I.; SALOPEK-SONDI, B. Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a

SOUZA, M. A. et al. Evolução do uso de fertilizantes nitrogenados na agricultura brasileira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 725-734, 2006.

SZABADOS, L., SAVOURÉ, A. Proline: a multifunctional amino acid. **Trends in Plant Science**, 15(2), 89-97, 2010.

TAIZ, L., ZEIGER, E. **Plant physiology. 5th ed. Sunderland**: Sinauer Associates, 2013. 782 p.

TEIXEIRA, W. F; FAGAN, E. B. Adequação de doses de aminoácidos no tratamento de sementes de soja. **Cerrado Agrociências**, Patos de Minas v. 9, p.8-32, 2018.

TEIXEIRA, W. F; SOARES, L. H. Amino acids as stress reducers in soybean plant growth under different water-deficit conditions. **Journal of plant growth regulation**, v. 39, p. 905-919, 2019.

Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. Macmillan, 1985.

USDA, disponível 6 de Abril de 2024, link: <https://fas.usda.gov/>

YANG, L.; WATTS, D. J. Particle surface characteristics may play an important role in phytotoxicity of alumina nanoparticles. **Toxicology Letters**, v. 158, n. 2, p. 122-132, 2005.

YUVARAJ, M.; SUBRAMANIAN, K. S. Controlled release fertilizer of zinc encapsulated by a manganese hollow core shell. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 60, p. 1-8, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00380768.2014.899063>. Acesso em: 12 nov. 2024.

ZULFIQAR, F., ASHRAF, M. Proline Alleviates Abiotic Stress Induced Oxidative Stress in Plants. **J Plant Growth Regul** 42, 4629–4651, 2023.

5. CAPÍTULO III: EFEITO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA E MICROPARTÍCULAS ZINCO ISOLADOS E ASSOCIADOS A SUBDOSE DE AMINOÁCIDOS NO TRATAMENTO DE SEMENTES DE SOJA

RESUMO

RAMOS, Thomás Oehninger. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, agosto, 2024. **Efeito de nanopartículas de prata e micro partículas zinco isolados e associados a subdose de aminoácidos no tratamento de sementes de soja.** Professor Orientador: Dr. Reginaldo Ferreira Santos. Co-orientador Dra. Luciene Kazue Tokura.

Frente aos desafios atuais da agricultura a adoção de novas tecnologias, em especial, de biofertilizantes a base de aminoácidos e nanotecnologia, tem sido estudado como uma alternativa viável ao uso de agroquímicos e fertilizantes, mais eficiente do ponto de vista agrônomo e ecológico. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do uso de diferentes doses nanopartículas de zinco, prata e bioestimulante aplicados no tratamento de sementes durante a fase vegetativa, reprodutiva e maturação. O experimento foi realizado na área experimental, em São Jorge do Ivaí PR na safra 2023/2024. O trabalho envolveu a avaliação do uso de diferentes doses de nanopartículas de prata e micropartículas de zinco associados a aminoácidos em tratamento de semente de soja e seu efeito sobre a produtividade, peso médio mil grãos, comprimento de raiz, população e altura de plantas. O experimento foi implantado no delineamento de blocos ao acaso com 4 repetições. Os resultados demonstraram que as doses de nanopartículas associadas e não associadas a aminoácidos não tiveram efeito significativo no tratamento de sementes.

Palavras-chaves: Aminoácidos, tratamentos de sementes, nanotecnologia e *Glycine max*.

"O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq) - Programa MAI/DAI"

ABSTRACT

RAMOS, Thomás Oehninger. State University of Western Paraná, 2022, august.
Effect of silver nanoparticles and zinc microparticles isolated and associated with subdose of amino acids on soybean seed treatment. Professor advisor: Dr. Reginaldo Ferreira Santos. Co-advisor: Luciene Kazue Tokura

In light of the current challenges faced by agriculture, the adoption of new technologies, particularly amino acid-based biofertilizers and nanotechnology, has been studied as a viable alternative to the use of agrochemicals and fertilizers, offering greater efficiency from agronomic and ecological standpoints. The objective of this study was to evaluate the effect of different doses of zinc and silver nanoparticles and biostimulants applied in seed treatment during the vegetative, reproductive, and maturation phases. The experiment was conducted in the experimental area of São Jorge do Ivaí, PR, during the 2023/2024 crop season. This work involved assessing the use of varying doses of silver nanoparticles and zinc microparticles associated with amino acids in soybean seed treatment and their effects on yield, average weight of one thousand seeds, root length, population density, and plant height. The experiment was designed using a randomized block design with four replications. The results demonstrated that the doses of nanoparticles, whether associated or unassociated with amino acids, did not have a significant effect on seed treatment.

Keywords: Amino acids, seed treatments, nanotechnology and *Glycine max*.

"This study was financed in part by the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq) - MAI/DAI"

5.1. INTRODUÇÃO

A soja é uma das principais culturas do mundo, fundamental para produzir óleo vegetal e proteínas. Neste sentido, diversos métodos de tratamento de sementes têm sido pesquisados para otimizar a produtividade e a qualidade das plantas, incluindo o uso de aminoácidos, nanopartículas de prata (AgNPs), micro e nanopartículas de zinco (NZN). Essas práticas não somente ajudam no desenvolvimento da cultura, mas também tem como objetivo proteger as plantas contra patógenos e condições ambientais adversas.

Os aminoácidos são definidos como blocos de construção das proteínas e desempenham papel essencial no desenvolvimento das plantas. Eles podem funcionar como bioestimulantes, melhorando a germinação, o crescimento das raízes, e a resistência ao estresse (JARDIN, 2015). Por exemplo, a arginina, o ácido glutâmico e a lisina são aminoácidos que podem aumentar a taxa de germinação e fortalecer as plântulas de soja, ajudando na síntese de proteínas e no metabolismo de energia. Uma pesquisa mostrou que a solução de aminoácidos fez com que o sistema radicular e a parte aérea das plantas crescessem mais robustamente e ganhassem mais peso seco (Youssef et al., 2020)

Esses aminoácidos também ajudam as plantas a enfrentarem condições desfavoráveis como seca e salinidade. Neste sentido, sementes tratadas com aminoácidos perdem menos água e resistem melhor ao estresse osmótico, graças à regulação osmótica e estabilização das membranas celulares (Anwar et al., 2018).

Já as nanopartículas de prata têm excelentes propriedades antimicrobianas, protegendo as plantas contra doenças. Quando usadas no tratamento das sementes, as nanopartículas de prata podem diminuir a incidência de doenças e melhorar a qualidade das plantas. Elas são eficazes contra diversos patógenos, como o fungo fusarium, que afeta frequentemente as sementes de soja, reduzindo a ocorrência de doenças e promovendo uma germinação mais saudável (Jo et al., 2009; Kim et al., 2012).

O zinco é um micronutriente essencial para todas as plantas, sendo crucial na síntese de proteínas e em muitos processos metabólicos. A utilização de nanopartículas de óxido de zinco (ZnO) como fonte de micronutriente tem se mostrado uma prática eficaz para corrigir deficiências nutricionais em plantas de soja,

promovendo um crescimento saudável e aumentando a produtividade (Silva et al., 2018).

O óxido de zinco em micropartículas atua como um agente promotor de crescimento, ajudando no desenvolvimento inicial das plantas. Estudos realizados por Fredrick et al. (2019) apontam que a presença adequada de zinco no solo e nas sementes é vital para a ativação de várias enzimas essenciais durante os estágios iniciais de germinação e estabelecimento das plantas. Além disso, a aplicação de ZnO nas sementes melhora a resistência das plantas a doenças.

Adicionalmente, pesquisas conduzidas por Lima e Rocha (2020) revelaram que o ZnO possui propriedades antifúngicas, ajudando na proteção contra patógenos do solo, como o fusarium, que é responsável por várias doenças na cultura da soja. Em termos de eficácia, Alves et al. (2021) mostraram que o tratamento das sementes com ZnO aumentou significativamente a taxa de germinação e o vigor das plantas de soja em comparação com sementes não tratadas. Esse aumento no vigor inicial resulta em plantas mais robustas e com maior capacidade de resistir a estresses abióticos e bióticos ao longo do ciclo de cultivo.

A deficiência de zinco pode causar sérios problemas para o desenvolvimento e sanidade das plantas trazendo impacto na produção. A adição de zinco nas sementes melhora a germinação e o crescimento das mudas, apoiando a integridade das membranas celulares e a atividade enzimática (Cakmak, 2008). Isso leva a sementes e mudas mais vigorosas e saudáveis. Além disso, o zinco melhora a eficiência do uso da água e aumenta a resistência das plantas ao estresse ambiental, como a seca, o que é fundamental para cultivos em regiões semiáridas (Shankar et al., 2002).

Considerando os benefícios potenciais do tratamento de sementes com biofertilizantes, este trabalho tem como objetivo principal desenvolver um novo biofertilizante à base de nanopartículas de prata e micropartículas de zinco associado a uma subdose de matriz de aminoácidos. A eficácia deste biofertilizante será avaliada no desenvolvimento inicial da cultura.

5.2. REVISÃO DE LITERATURA

5.2.1. Uso de aminoácidos em tratamento de sementes

Em relação ao crescimento das raízes e ao desenvolvimento vegetativo, a adição de aminoácidos favorece o fortalecimento e vigor das raízes, melhorando a absorção de água e nutrientes. Com uma nutrição aprimorada, há um estímulo para um crescimento vegetativo mais rápido e saudável (Yamamoto, 2018).

Adicionalmente, a aplicação de aminoácidos pode incrementar a fixação do nitrogênio nas plantações, um fator crucial para o desenvolvimento saudável das culturas. O ácido glutâmico desempenha um papel fundamental na formação de outros aminoácidos e atua como um sinalizador no metabolismo do nitrogênio. O tratamento de sementes com este aminoácido pode estimular um crescimento mais robusto e saudável, resultando em plantas mais resistentes e produtivas. Além de contribuir para a produção de fitoalexinas, substâncias que auxiliam na proteção das plantas contra patógenos, os aminoácidos permitem que o tratamento das sementes não apenas melhore o crescimento inicial das plântulas, mas também prepare as plantas para uma defesa mais eficaz contra doenças, o que pode aumentar a produtividade e a qualidade dos grãos (SILVA, 2020).

De acordo com Teixeira (2018), o uso de aminoácidos pode ser uma estratégia viável para melhorar aspectos bioquímicos e a produtividade da soja, uma cultura de grande importância econômica. Em suas pesquisas, o autor observou que a aplicação de glutamato resultou em um aumento na taxa de emergência das plantas, no metabolismo antioxidante e na produtividade geral, com um acréscimo significativo de até 30% na taxa de emergência em comparação com o grupo controle. A fenilalanina também contribuiu para aumentar a massa seca das plantas e sua produtividade. A utilização de glicina resultou em melhorias em todos os parâmetros analisados e reduziu o estresse das plantas. Em relação à produtividade, todos os tratamentos de sementes resultaram em um aumento dessa variável em comparação com o grupo de controle, sendo que o tratamento com fenilalanina apresentou a maior produtividade, com um acréscimo de 72% em relação ao grupo controle.

Conforme Santos e Silva (2021), plantas provenientes de sementes tratadas com uma solução de aminoácidos produziram 12% mais grãos por planta do que as não tratadas. Esse aumento é atribuído à melhoria na fixação do nitrogênio e ao transporte mais eficiente dos nutrientes. No entanto, é fundamental considerar as doses e formas de aplicação dos aminoácidos, uma vez que o excesso pode ser prejudicial às plantas. Estudos como o realizado por Fageria et al. (2009) ressaltam a importância das dosagens adequadas para maximizar os benefícios e evitar possíveis

impactos negativos. Os métodos de aplicação podem variar desde a imersão das sementes em soluções de aminoácidos até o revestimento das mesmas com compostos específicos.

5.2.2. Uso de Nanopartículas de zinco e prata em tratamento de sementes

Outra vantagem significativa da utilização das nanopartículas de zinco no tratamento das sementes é a melhoria da eficiência no uso dos fertilizantes. As nanopartículas de zinco podem ser absorvidas mais facilmente pelas plantas graças ao seu tamanho reduzido, o que pode resultar em uma maior eficiência no aproveitamento dos nutrientes. Conforme apontado por Raliya et al. (2015), a aplicação das nanopartículas de zinco pode reduzir a quantidade necessária de fertilizantes, contribuindo para atenuar os impactos ambientais negativos associados à extensa utilização dos fertilizantes químicos convencionais. No entanto, apesar dos benefícios potenciais, é crucial considerar os impactos ecotoxicológicos das nanopartículas de zinco na agricultura.

Zhu et al. (2017) alertaram que, apesar de as nanopartículas de zinco poderem favorecer o desenvolvimento das plantas, a sua acumulação no solo e nos corpos d'água pode acarretar efeitos adversos a longo prazo na vida do solo e na qualidade da água. Por isso, é necessário realizar mais estudos para compreender completamente os impactos ambientais e determinar as doses seguras de ZnNPs para uso na agricultura.

É importante destacar que a concentração das nanopartículas de prata empregada é um fator crítico para determinar se terão efeitos benéficos ou tóxicos. Estudos conduzidos por Xiu et al. (2012) indicam que, em baixas concentrações, as nanopartículas de prata podem atuar positivamente, mas em altas concentrações, podem ser prejudiciais às plantas, impactando o crescimento radicular e o alongamento celular. Esse equilíbrio é essencial para uma aplicação segura e eficaz das nanopartículas na agricultura.

A utilização das nanopartículas de prata no tratamento de sementes também apresenta potencial para substituir os produtos químicos sintéticos convencionalmente usados, como pesticidas e fungicidas. Comparativamente a esses produtos, as nanopartículas de prata podem fornecer uma alternativa mais sustentável e menos prejudicial ao meio ambiente. Conforme mencionado por Shah et al. (2016),

a permanência dessas nanopartículas no ambiente é menor, o que poderia reduzir o impacto ambiental decorrente do extenso uso de produtos químicos agrícolas. No entanto, a aplicação prática das nanopartículas de prata ainda enfrenta desafios e lacunas de pesquisa. É necessário realizar mais estudos para entender melhor os mecanismos exatos de ação das NPs de prata, sua interação com o solo e microbiota, e os impactos a longo prazo no ambiente e na saúde humana.

De acordo com as observações de Kumar et al. (2018), a regulamentação e os procedimentos de segurança relacionados ao uso de nanopartículas na agricultura precisam ser cuidadosamente elaborados para garantir sua utilização segura e eficaz.

As propriedades antimicrobianas das nanopartículas de prata são amplamente reconhecidas na academia. Estudos indicam que as NPs de prata podem ser eficazes na descontaminação de sementes e na proteção das plantas contra doenças causadas por fungos e bactérias. Conforme evidenciado pelos estudos conduzidos por Grodver et al. (2018), a aplicação dessas nanopartículas em sementes de soja não apenas reduziu a presença de patógenos nas sementes, como também estimulou um crescimento inicial mais robusto das plantas. Essa característica é especialmente benéfica, uma vez que doenças nas fases iniciais do crescimento podem resultar em grandes perdas e impactos na produtividade.

Por outro lado, as ZnNPs desempenham um papel essencial no crescimento das plantas graças à importância do zinco como micronutriente. O zinco está envolvido em diversas funções enzimáticas e metabólicas nas plantas, conforme demonstram estudos recentes como os realizados por Raliya et al. (2016). A utilização de ZnNPs parece beneficiar o processo de germinação e o crescimento das plântulas de soja, além de conferir maior resistência a condições adversas, como seca e salinidade, graças à regulação eficaz do metabolismo vegetal pelo zinco. Também tem sido investigado o uso combinado de NPs de prata e ZnNPs, com resultados encorajadores. De acordo com um estudo recente conduzido por Rossi et al. (2020), a aplicação dessas nanopartículas nas sementes de soja não apenas protege contra patógenos, mas também aumenta a disponibilidade de zinco para as plantas. As plantas tratadas exibiram vigor inicial elevado e um desenvolvimento mais saudável ao longo do crescimento.

Nanopartículas de prata são bem conhecidas por suas propriedades antimicrobianas. A prata em sua forma nanométrica tem uma área superficial grande que aumenta sua eficácia contra vários tipos de microrganismos. Pesquisas

realizadas por Khot et al. (2012) mostram que usar AgNPs em cultivos pode reduzir significativamente a incidência de doenças causadas por fungos e bactérias. Em experimentos com trigo, as AgNPs foram eficazes contra patógenos como *Fusarium* spp. e *Pseudomonas* spp., resultando em plantas mais saudáveis e crescimento superior comparado aos métodos tradicionais de controle fitossanitário. Além do controle de doenças, as AgNPs também podem influenciar positivamente no crescimento das plantas. De acordo com a pesquisa de Jo, Kim e Jung (2015), a aplicação de AgNPs em pepinos resultou em um aumento na taxa de germinação e crescimento inicial das plântulas, indicando que pequenas quantidades dessas nanopartículas podem agir como promotores do crescimento.

5.3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área experimental localizada no município de São Jorge do Ivaí-PR, entre as coordenadas 52º 36' 23" de longitude Oeste e 26º 18' 34" de latitude Sul. O clima dominante na região é o tipo Cfa (subtropical úmido mesotérmico) com verões quentes e geadas pouco frequentes, com tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, sem estação seca definida, sendo a precipitação média anual entre 1400 e 1600 mm (IAPAR, 2000).

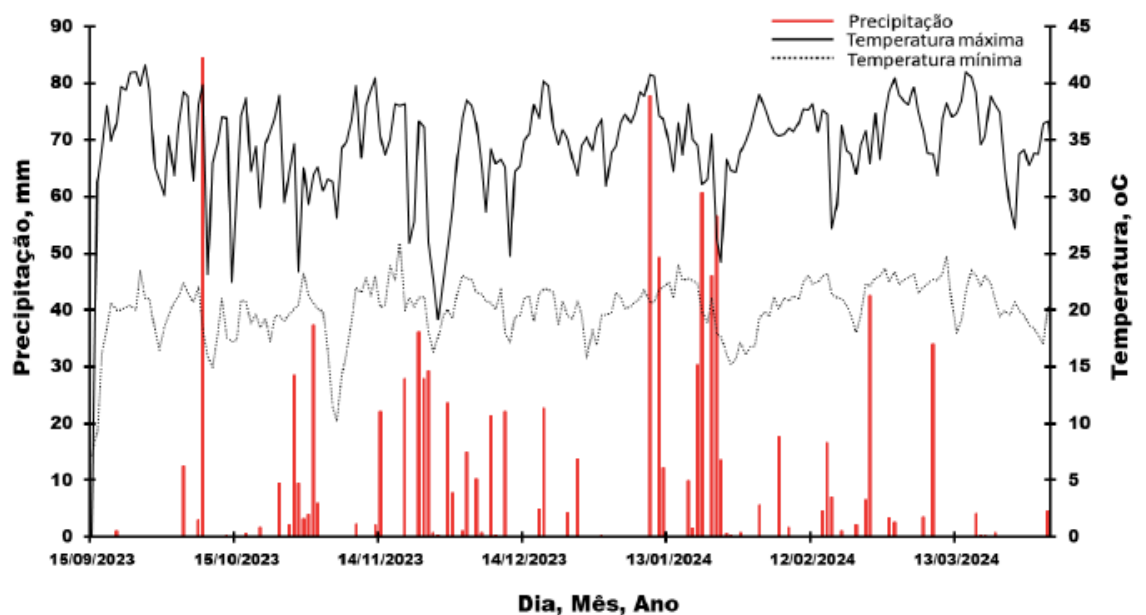


Figura 1 – Dados de precipitação (mm) e temperatura máxima e mínima (°C) durante o período experimental de cultivo da cultura da soja na safra 2023/2024.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho eutroférico (Santos et al., 2013) e pertence à classe textural muito argilosa. A caracterização química do perfil do solo pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização química solo área experimental

PROF (cm)	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC
	-----cmolc.dm ³ -1-----					
00-10	0,00	3,15	0,84	4,48	1,37	9,84
10-20	0,00	2,66	0,4	3,97	1,09	7,62
20-40	0,00	3,15	0,21	2,9	1,07	7,33
PROF	pH	Corg	P	V		
	CaCl ₂	(g dm ³)	(mg.dm ³)	%		
00-10	5,6	16,59	28,5	67,99		
10-20	5,1	13,17	13,25	65,09		
20-40	5	9,74	5,81	57,03		

Fonte: Pavan et al. (1992).

O experimento foi implantado no delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições. As parcelas de cada tratamento foram constituídas por oito linhas da cultura da soja espaçadas de 0,45 m com 12 m de comprimento. Os tratamentos avaliados podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 2 - Caracterização dos tratamentos utilizados nas sementes de soja

Tratamento	Descrição
T1	Testemunha
T2	1,5 mL de AgNPs
T3	0,75 mL de NZN
T4	1,5 mL de NZN
T5	3,0 mL de NZN
T6	0,5 mL de Aminoácidos + 1,5 mL de AgNPs
T7	0,5 mL de de Aminoácidos + 1,5 mL de NZN

Dose de mL por kg de semente⁻¹

O fertilizante a base de aminoácido utilizado contém em sua composição, uma elevada concentração de 44,7% de aminoácidos, oriundos de proteína hidrolizada de origem animal, distribuída em: 2,27% de ácido aspártico, 4,66% ácido glutâmico, 0,55% serina, 11,50% glicina, 0,27% histidina, 0,22% treonina, 2,03% arginina, 4,40% alanina, 6,73% prolina, 0,33% tirosina, 1,11% valina, 0,40% de metionina, 0,01% cistina e cisteína, 0,59% isoleucina, 1,43% leucina, 0,89% fenilalanina, 1,64% lisina,

4,69% hidroxiprolina e 1,00% ornitina. Essa composição de aminoácidos permite estimular o desenvolvimento inicial da planta e apresenta maior tolerância a diferentes tipos de estresses, seja de origem biótica ou abiótica.

A nanopartícula de zinco na forma de óxido de zinco foi utilizada na concentração de 10% com 220 nanômetros e nanopartículas de prata metálica na concentração de 1000 ppm com 5 a 10 nanômetros. Nas sementes com aplicação de aminoácidos e nanopartículas foram adicionados 1000 mL de água para cada 100 kg de sementes. A cultura da soja, cultivar TMG 7362, foi semeada em 05/11/2023. As sementes foram tratadas com 0,002 l/kg de semente do produto comercial StandakTop. No sulco de plantio foi aplicado o inoculante líquido Rhizotrop na dose de 0,25 l/ha. A adubação da cultura foi feita com 231 kg/ha do formulado 02-23-23 aplicado no sulco de plantio.

Foram feitas as seguintes avaliações nas plantas de soja cultivadas nos tratamentos avaliados: Determinação da altura de plantas em R1-R2; Estande de plantas em R1-R2; Determinação da massa de mil grãos; determinação rendimento de grãos (kg/ha); e determinação de comprimento de raiz. Para a Determinação da altura de plantas . foi realizada a medida de altura de plantas em R1-R2 de 5 plantas por parcela, tomando a distância entre o colo da planta até o ápice. Um número médio de centímetros (cm) foi calculado. No caso do Estande de plantas foi avaliado no estágio R1-R2 em duas linhas centrais com 6 m de comprimento foi feita a contagem de plantas em cada parcela e um valor médio foi contabilizado. Para a determinação da massa de mil grãos e rendimento de grãos (kg/ha) foi realizada a colheita da cultura da soja no dia 20/03/2024, sendo colhidos 5,4 m² por tratamento, correspondente a 2 linhas da cultura com 6 m de comprimento. As plantas foram cortadas e em seguida trilhadas com uma trilhadeira motorizada. Foi feita a medida da umidade dos grãos e a determinação da massa de mil grãos a partir de amostras de 500 grãos. A massa de grãos colhida em cada parcela foi corrigida para a umidade padrão de 14% conforme Brasil (2009). Para determinação do comprimento de raiz foi realizada no momento da colheita sendo determinada o comprimento da raiz principal de cada indivíduo com auxílio de uma tabela graduada.

Os dados coletados a campo, foram submetidos à análise de variância, e a comparação das médias analisadas pelo teste de Scott-Knott (1974) a 5% de significância, por meio do programa estatístico Sisvar.

5.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a caracterização inicial de população de plantas (Stand), na fase vegetativa da soja (R1-R2), os valores médios obtidos foram de 7,76 plantas por metro linear. Pelos resultados, indicados na tabela 2, é possível observar que para os testes de STAND, não foram identificadas diferenças significativas ($p \geq 0,05$) para os efeitos dos tratamentos e doses com ausência de incremento em população de plantas.

A determinação de altura de plantas no estágio reprodutivo (R1-R2) apresentaram os valores médios de 30 cm de altura por planta, não foram identificadas diferenças significativas ($p \geq 0,05$) para os efeitos dos tratamentos e efeitos de doses. Para a determinação de Produtividade, na maturação (R8) o valor médio foi de 3038 kg por hectare. Não foram identificadas diferenças significativas ($p \geq 0,05$) para o efeito dos tratamentos e efeito de dose (Tabela 2). Esses resultados podem ser atribuídos ao baixo regime hídrico ocorrido no período, desta forma não possibilitando os diferentes tratamentos expressarem seu potencial na cultura.

Tabela 3 - O resumo das análises de variância para avaliação de rendimento de grãos em $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (PROD), altura de plantas (ALT), população de mil plantas por hectare (STAND), Peso mil grãos (PMG) e comprimento raiz (RAIZ)

FV	GL	QM				
		PROD	ALT	STAND	PMG	RAIZ
Tratamento	6	95054,2 NS	3,34 NS	0,81 NS	9,01 NS	13,51
Bloco	3	156773,7	3,94	0,39	13,02	5,69
Resíduo	18	102655,5	3,46	0,65	8,9	9,76
Média geral:		3038,25	30,03	7,75	166,47	18,39
CV (%)		10,55	6,2	10,37	1,79	18,39

NS: Não houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos, pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

S: Houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos, pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

Para a característica PROD, observou-se uma tendência de redução de produtividade para os tratamentos com subdose de aminoácidos, porém não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 3). O uso isolado de nanopartículas de zinco e prata no tratamento de sementes não apresentou incremento de PROD, ALT, STAND, PMG e RAIZ (Tabela 3). Esses resultados convergem com Pinheiro (2014) que não observou diferença no crescimento e

germinação das plantas, porém constatado efeito fisiológico de fluorescência da clorofila e alterações no processo de transpiração foliar.

Tabela 4 - Desdobramento das médias das variáveis rendimento de grãos (PROD), peso mil grãos (PMG), altura (ALT) e população de plantas por hectare (STAND) de semente de soja sem envelhecimento com sete doses diferentes de aminoácidos e nano partículas de zinco e prata.

Doses			PROD	ALT	STAND	PMG	RAIZ
Aminoácido	Nano Prata	Nano Zinco					
0	0	0	3027,5 a	31,05 a	7,7 a	165,1 a	18,43 a
0	1,50 mL	0	3188,3 a	28,75 a	8,55 a	168,77a	17,25 a
0	0	0,75 mL	3059,1 a	30,6 a	7,35 a	165,77 a	17,94 a
0	0	1,50 mL	2994 a	29,75 a	7,8 a	166 a	21,37 a
0	0	3,00 mL	3273,9 a	31,05 a	8,0 a	168,5 a	20,37 a
0,5 mL	1,5 mL	0	2871,8 a	29,1 a	7,75 a	165,8 a	16,75 a
0,5 mL	0	1,50 mL	2853 a	29,9 a	7,15 a	165,3 a	16,59 a

Unidade ml por kg de semente tratada. Médias de tratamentos seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (1974) a 5% de probabilidade.

Na Tabela 3 pode ser observado os resultados dos tratamentos avaliados. Nota-se que, apesar de não haver diferenças significativas, um maior estande de plantas e a menor altura de plantas ocorreu no tratamento com a aplicação do 1,5 ml/kg de Nanopartículas de Prata (AgNPs). A maior altura foi verificada nos tratamentos Testemunha e com 3,0 ml/kg de Nanopartículas de Zinco (NPZn). Verificou-se pequenas variações no peso de grãos entre os tratamentos, com o menor valor (165,1 g) sob o tratamento Testemunha e Aminoácidos + NPZn e o maior valor (168,77 g) no tratamento com aplicação de 1,5 mL kg⁻¹ de AgNPs. Os tratamentos com uso de 3,0 ml/kg de NPZn e 1,5 mL.kg⁻¹ de AgNPs promoveram ganhos não significativos de 192,4 kg/ha e 160,8 kg/ha em relação à testemunha. Os resultados de produtividade e altura se assemelham aos resultados encontrados por trabalhos conduzidos por Prato et al (2007) em que avaliou diferentes fontes de zinco no tratamento de sementes de milho onde favoreceu o crescimento inicial da cultura no uso de óxido de zinco. Adicionalmente, o zinco pode atuar como redutor de estresse por meio da promoção das espécies reativas de oxigênio (EROS) , através da superoxidase dismutase que atuam na manutenção da integridade e a seletividade

das membranas celulares, o que é crucial durante períodos de estresse (Umair, 2010). Adicionalmente, o zinco atua como precursor do triptofano por meio da rota da glutamina e piruvato, o triptofano tem o papel importante no crescimento vegetal e pode explicar ganho de altura do tratamento. Neste sentido a condição climática de déficit hídrico e de alta temperatura no período do experimento sugerem um efeito potencial provocado pela atuação das micro partículas de zinco em comparação aos demais tratamentos.

Para os tratamentos utilizados com subdose de aminoácidos foi observado um efeito negativo, observou-se uma queda em produtividade, comprimento de raiz e altura de plantas comparado a testemunha.

5.5. CONCLUSÕES

A partir dos experimentos conduzidos a campo, chegou-se as seguintes conclusões:

As subdoses de aminoácidos não tiveram efeito significativo, desta forma sugere-se uma tendência para resposta negativa para o uso desta subdose.

Sugere-se que, em condições de déficit hídrico e altas temperaturas, o uso de micro partículas, desde que em altas doses, tende a responder de forma positiva para o desenvolvimento produtivo da cultura.

Conclui-se que, não tiveram efeito significativo o emprego de nanopartículas de prata , micro partículas de zinco isolados ou associados a subdose de aminoácido no tratamento de sementes de soja para as variáveis analisadas.

5.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-SAADAWI, I. S., AL-ANI, A. H. Effect of foliar application of amino acids on growth and yield of tomato plants grown under different irrigation water salinity levels. **Scientia Horticulturae**, 235, 492-499, 2018.

ALVAREZ, M. E.; SÁNCHEZ, J. J. Amino acids: functions and roles in plant development. **Plant Science Journal**, v. 221, p. 37-45, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2014.03.001>. Acesso em: 12 nov. 2024.

ALVES, D. J. et al. Impacto do tratamento de sementes com ZnO na germinação de soja. **Ciência em Campo**, v. 20, p. 1-10, 2021.

Anwar, S., et al. Exogenous application of amino acids improves the growth, biochemical attributes, and ion accumulation of maize under saline conditions. **Journal of Plant Growth Regulation**, 37(2), 563-576, 2018.

AXELOS, M. A. V.; VAN DE VOORDE, M. (Eds.). **Nanotechnology in Agriculture and Food Science**. Wiley-VCH, 2017.

BHUSHAN, BHARAT (ed.). "Springer Handbook of Nanotechnology." **Springer Science & Business Media**, 2007. ISBN 978-3-540-29856-5.

BRAGA, Marcia Regina. **Fitoalexinas e a defesa das plantas**. Acesso em, v. 23, 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395p.

BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. **Biochemistry & Molecular Biology of Plants**. 2. ed. Wiley-Blackwell, 2015.

CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? **Plant and Soil**, 302(1-2), 1-17, 2008.

COLLA, G. et al. Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 28-34, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.032>. Acesso em: 12 nov. 2024.

DU JARDIN, P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 3-14, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>. Acesso em: 12 nov. 2024.

FAGERIA, N. K., BALIGAR, V. C., LI, Y. C. The role of nutrient efficient plants in improving crop yields in the twenty-first century. **Journal of Plant Nutrition**, 31(6), 1121-1157, 2009.

FERRARI, S., JANSEN, R. Effects of amino acids on root system architecture. **Journal of Experimental Botany**, 70(5), 1383-1395, 2019.

FREDRICK, E.R., et al. "Role of Zinc in Plant Growth." **Journal of Agricultural Science**, 2019.

GARCIA, J. M., AYERBE, L. ESTEVE, J. Proline accumulation as a strategy for drought resistance in barley. **Field Crops Research**, 19(3), 213-223, 2019.

GRODVER, D., et al. Nanoparticle Silver Application in Agricultural Crops. **Journal of Agricultural Science**, 2018.

IAPAR. Instituto Agronômico do Paraná. **Cartas Climáticas do Paraná**. Versão 1.0. 2000. (formato digital) 1 CD.

JO, Y. K. et al. Efficacy of silver nanoparticles for plant disease control. **Plant Pathology Journal**, v. 25, n. 4, p. 376-380, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.5423/PPJ.2009.25.4.376>. Acesso em: 12 nov. 2024.

JO, Y. K., KIM, B. H., JUNG, G. Antifungal Activity of Silver Ions and Nanoparticles on Phytopathogenic Fungi. **Plant Disease**, 93(10), 1037-1043, 2012.

KHAN, W. et al. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 28, n. 4, p. 386-399, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10026-2>. Acesso em: 12 nov. 2024.

KHOT, L. R., et al. **Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: A review**. Crop Protection, 2012.

KIM, S. H. et al. Antifungal effects of silver nanoparticles (AgNPs) on two plant pathogens, *Colletotrichum* spp. **Plant Pathology Journal**, v. 28, n. 2, p. 196-202, 2012.

KOLE, C., et al. Nanobiotechnology can boost crop production and quality: first evidence from increased crop yield and antioxidant content in spinach treated with cerium oxide and zinc oxide nanoparticles. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2016.

KOWALCZYK, K.; ZIELONY, T. Effect of amino plant amino acids on growth and yield of greenhouse tomatoes. **Journal of Elementology**, v. 1, n. 3, p. 7-17, 2008.

KULKARNI, S. K. **Nanotechnology: Principles and Practices**. 3. ed. Springer, 2015.

KUMAR, A., VEMULA, P. K., AJAYAN, P. M., & JOHN, G. Silver-nanoparticle-embedded antimicrobial paints based on vegetable oil. **Nature Materials**, 7(3), 236-241, 2018.

KUMAR, N., et al.. Ecotoxicity of nanoparticles in soil and its implications on agriculture. **Journal of Nanoscience and Nanotechnology**, 2015.

LALONDE, S.; WIPF, D.; FROMMER, W. B. Transport mechanisms for organic forms of carbon and nitrogen between source and sink. **Annual Review of Plant Biology**, v. 55, p. 341-372, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141626>. Acesso em: 12 nov. 2024.

LIMA, A. F.; ROCHA, M. C. Propriedades antifúngicas do óxido de zinco no tratamento de sementes. **Pesquisas Agrícolas Brasileiras**, v. 55, p. 1-10, 2020.

LIU, S., ZHANG, W., WANG, Z., LI, F. Effects of foliar application of amino acids on biomass, yield and nutrient content of soybean (*Glycine max L.*). **Plant Growth Regulation**, 76(1), 101-110, 2015.

Lu, Y., & Zhang, W. Glycine effects on root elongation and development. **Journal of Plant Growth Regulation**, 41(1), 23-34, 2022.

MACKERNESS, S. A. H., JORDAN, B. R. Role of cysteine in stress resistance and root development. **Plant Physiology**, 177(2), 734-745, 2018.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Lehninger Principles of Biochemistry**. 7. ed. W.H. Freeman and Company, 2017.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Lehninger Principles of Biochemistry**. 7. ed. W.H. Freeman and Company, 2017.

PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H. C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. **Manual de análise química de solo e controle de qualidade**. Londrina: IAPAR, 1992. 40 p. (IAPAR. Circular 76).

PINHEIRO, F. C; MEZACASA, Alteração do status fisiológico de plantas de soja induzido por nanopartículas de prata: avaliação via electroscopia de fluorescência. **ENEPEX - 8º ENEPE UFGD e 5º EPEX UEMS - ENCONTRO DE ENSINO PESQUISA E EXTENSÃO**, 2014.

PRADO, R. de M.; NATALE, W.; MOURO, M. de C. Fontes de zinco aplicado via semente na nutrição e crescimento inicial do milho cv. Fort. **Revista Bioscience Journal**, v. 23, n. 2, p. 16-24, 2007.

Prasad, T. N. V. K. V., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Raju, P., ... & Pradeep, T. Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. **Journal of Plant Nutrition**, 35(6), 905-927, 2012.

Raliya, R., et al. Engineered zinc oxide nanoparticles improve the uptake and bioavailability of zinc in wheat: A life-cycle assessment study. **Scientific Reports**, 2016.

Raliya, R., Nair, R., Chavalmane, S., Wang, W. N., & Biswas, P. Mechanistic evaluation of translocation and physiological impact of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles on the tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plant. **Metallomics**, 7(12), 1584-1594, 2015.

Roco, Mihail C., Bainbridge, William S. **"Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology."** Springer Science & Business Media, 2001. ISBN 978-1-4020-1252-8.

Rossi, L. H., et al. Combined Application of Silver and Zinc Nanoparticles Enhances Soybean Growth and Pathogen Resistance. **Nano-Agro Journal**, 2020.

ROUGEAU, P. R., GAUTHIER, J. Amino acids and their impact on root development. **Plant Science**, 305, 110814, 2021.

Sánchez-Romero, C., Ocampo, J. A., & Sánchez-Navarro, J. A. . Effect of amino acid application on grapevine (*Vitis vinifera* L.) yield, fruit quality and elemental composition. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 67(13), 3525-3534, 2019.

Santos, D., & Silva, J. **"Impact of Amino Acid Seed Treatments on Soybean Yield."** **Agricultural Advances**, 25(4), 456-467, 2021.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.

SAS INSTITUTE. **SAS: user's guide: Statistics**. 9th ed. Cary, 943p. 2002.

SENTELHAS, Paulo César et al. Clima e produtividade da soja: efeitos nas produtividades potencial, atingível e real clima e produtividade. **Boletim de Pesquisa. Fundação MT**, n. Ja 2015, p. 1-15, 2015.

Shah, S. T. H., Yehye, W. A., Chowdhury, Z. Z., et al. Recent advances in the synthesis and characterization of silver nanoparticle-mediated organic transformations. **Advances in Colloid and Interface Science**, 234, 46-56, 2016.

SHANKAR, A. H. et al. Zinc and immune function: The biological basis of altered resistance to infection. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 68, Suppl. 2, p. 447S-463S, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/ajcn/68.2.447S>. Acesso em: 12 nov. 2024.

SILVA, Érica Natalia da Cruz e. **Germinação e crescimento de plantulas de Glycine max submetidas a concentrações tóxicas e subtóxicas de cádmio e o efeito protetor do bioestimulante acadian**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Chapecó, 2018. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/4495>. Acesso em: 10 mar. 2024.

SILVA, J. A.; ALMEIDA, P. R. Tratamento de sementes com aminoácidos e produção de fitoalexinas: benefícios para o crescimento e defesa das plantas. **Revista de Biotecnologia Vegetal**, v. 15, n. 3, p. 45-58, 2020.

SILVA, J. P. et al. Efeitos do zinco no crescimento inicial da soja. **Revista de Agricultura**, v. 93, p. 1-10, 2018.

SOUZA, R. T.; MARTINS, L. M. Efeitos tóxicos de altas concentrações de zinco em plantas. **Plantas e Solos**, v. 45, p. 12-20, 2022.

UMAIR HASSAN, M. et al. The Critical Role of Zinc in Plants Facing the Drought Stress. **Agriculture**, 10, 396, 2020.

XIU, Z. M., ZHANG, Q. B., PUPPALA, H. L., COLVIN, V. L., ALVAREZ, P. J. J. Negligible particle-specific antibacterial activity of silver nanoparticles. **Nano letters**, 12(8), 4271-4275, 2012.

YAMAMOTO, T.; DA SILVA, M.; TAKAHASHI, H. Effects of amino acids on root growth and development in various plant species. **Journal of Plant Physiology**, v. 224, p. 164-172, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.02.008>. Acesso em: 12 nov. 2024.

YOUSSEF, H. S. et al. Bio-stimulants application improves growth, secondary metabolites, and gene expression of certain enzymes in soybean subjected to salt stress. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 39, n. 1, p. 581-591, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10143-w>. Acesso em: 12 nov. 2024.

ZHANG, S. et al. Biochemical changes and susceptibility of oxidative stress in ripening Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) fruit. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 14, p. 25-31, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12298-008-0004-2>. Acesso em: 12 nov. 2024.

ZHU, H., HAN, J., XIAO, J. Q., JIN, Y. Uptake, translocation, and accumulation of manufactured iron oxide nanoparticles by pumpkin plants. **Journal of Environmental Monitoring**, 10(6), 713-717, 2008.

ZOU, J., ZHANG, H., CHEN, Z., SHI, M., WU, X., & LI, Y. Foliar application of amino acids mitigates salt stress in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. **Environmental and Experimental Botany**, 140, 15-24, 2017.

6. CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados indicam que o uso de nanopartículas de zinco (ZnNPs) em tratamento de sementes de soja não envelhecidas contribuiu para a melhora na germinação e emergência contribuindo para uma germinação mais rápida e com maior uniformidade. Porém, foi observado diferentes respostas a doses aplicadas dependendo do regime pluviométrico e cultivar de soja utilizado.

Por outro lado, o uso de aminoácidos e nanopartículas de prata (NPs de prata), de forma isolada, em tratamento de sementes de soja não contribuiu para o incremento da germinação e emergência. Em relação ao efeito de doses na germinação foi possível observar resposta e diferentes comportamentos e diferentes faixas ótimas de resposta para os compostos analisados. Quando aplicadas ZnNPs e NPs de prata de forma associada em tratamento de sementes de soja, verificou-se um efeito antagônico para a germinação.

Levando em consideração os aspectos agronômicos, o uso de NZN e NPs de prata em tratamento de semente não envelhecida de forma isolada contribuíram para o incremento em produtividade da cultura da soja.

Ao utilizar aminoácidos associados a nanopartículas de zinco e prata para tratamento de sementes de soja não envelhecidas na dose de 1,5 e 2,0 mL por kg de semente, proporcionou melhora na uniformidade e desenvolvimento inicial no estabelecimento da cultura da soja. Por outro lado, o uso de aminoácidos na sub dose de 0,5 e 1,0 ml por kg de semente associado a ZnNPs e NPs de prata em tratamento de soja não se demonstrou vantajoso para o desenvolvimento inicial da cultura da soja. Portanto, a hipótese inicial (H₀) proposta neste trabalho deve ser rejeitada por não proporcionar resposta significativa nas variáveis analisadas.

Deste modo, a utilização de ZnNPs de forma isolada desde que utilizadas em doses resposta adequadas em tratamento de sementes de soja não envelhecida, possibilita a utilização com melhor desenvolvimento inicial e incremento das características agronômicas para a cultura. Sugere-se que, para um cenário de déficit hídrico aliado a alta temperatura os ZnNPs podem atenuar o efeito sobre o rendimento da cultura da soja.

Por fim, a utilização de aminoácidos, micro partículas de zinco e nanopartículas de prata em tratamento de sementes de soja representa uma inovação disruptiva e promissora, demonstrando um potencial significativo para aprimorar a

germinação, o crescimento e a proteção das plantas, bem como para aumentar a eficiência no uso de fertilizantes. No entanto, mais pesquisas focadas na compreensão dos mecanismos de ação dos aminoácidos, nanopartículas de zinco e prata, bem como os impactos a longo prazo, são essenciais para compreender com maior profundidade o efeito e uso destas soluções afim garantir uma prática agrícola sustentável e segura.

ANEXOS

ANEXO 1 – ARTIGO 1

ANEXO 2 - ARTIGO 2