

INSTITUTO FEDERAL DO PARANÁ
KAIO BRAVO FUKUDA

DESENVOLVIMENTO DA SOJA NO TRATAMENTO DE SEMENTES
COM EXTRATO DE ALGAS E MICRONUTRIENTES

IVAIPORÃ – PR
2024

KAIO BRAVO FUKUDA

DESENVOLVIMENTO DA SOJA NO TRATAMENTO DE SEMENTES
COM EXTRATO DE ALGAS E MICRONUTRIENTES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrônoma, do Instituto Federal do Paraná, como requisito necessário à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientadora: Profa. Dra. Marcibela Stülp

IVAIPORÃ – PR


2024

FOLHA DE APROVAÇÃO


Kaio Bravo Fukuda

DESENVOLVIMENTO DA SOJA NO TRATAMENTO DE SEMENTES COM EXTRATO DE ALGAS E MICRONUTRIENTES

O presente trabalho em nível de graduação foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:


Documento assinado digitalmente
 **RODRIGO JUNIOR SCHNEIDER**
Data: 05/09/2024 18:24:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Engenheiro Agrônomo Rodrigo Júnior Schneider


Documento assinado digitalmente
 **TAIS MULLER**
Data: 04/09/2024 15:40:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a Me. Tais Müller
Instituto Federal Do Paraná - Campus Ivaiporã

Certificamos que essa é a versão original e final do trabalho de conclusão de curso, que foi julgado adequado para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônoma pelo Instituto Federal Do Paraná - Campus Ivaiporã.

Documento assinado digitalmente
 **DENIS SANTIAGO DA COSTA**
Data: 04/09/2024 13:29:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof Dr. Denis Santiago da Costa
Coordenação do curso de Engenharia Agrônoma
Siape: 1400880

Documento assinado digitalmente
 **MARCIBELA STÜLP**
Data: 03/09/2024 10:32:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a Dra. Marcibela Stülp
Orientadora
Siape: 2355995

Ivaiporã, 24 de agosto de 2024.

RESUMO

O presente trabalho aborda o desenvolvimento da soja (*Glycine max* L. Merrill) utilizando tratamentos de sementes com extrato de algas, carbonato de cobre, molibdênio e óxido de zinco. O experimento foi realizado no Instituto Federal do Paraná (IFPR), Campus Ivaiporã-PR, com a cultivar Brasmax Zeus IPRO, com o ciclo de maturação 5.5, visando avaliar o impacto desses tratamentos no desenvolvimento radicular e crescimento da parte aérea da soja. O experimento contou com quatro tratamentos distintos, cada um com cinco repetições, incluindo uma testemunha e aplicações de extrato de algas, carbonato de cobre, molibdênio e óxido de zinco, bem como a combinação desses elementos. As plantas foram avaliadas no estágio fenológico V3/V4, considerando o desenvolvimento de raízes, caules e folhas, além da massa verde e seca. Os resultados não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, indicando que nenhum dos tratamentos teve efeito superior em comparação à testemunha. Conclui-se que, sob as condições experimentais deste estudo, os tratamentos de sementes testados não proporcionaram benefícios do ponto de vista estatístico ao desenvolvimento inicial da soja, sugerindo a necessidade de mais pesquisas para explorar outras combinações de nutrientes e extratos que possam potencializar o crescimento da cultura.

Palavras-chave: *Glycine max* L. Merrill; Nutrição de plantas; Bioinsumos.

ABSTRACT

This study investigates the development of soybean (*Glycine max* L. Merrill) by treating seeds with seaweed extract, copper carbonate, molybdenum, and zinc oxide. The research was conducted at the Federal Institute of Paraná (IFPR), Ivaiporã-PR campus, using the Brasmax Zeus IPRO cultivar. The goal was to evaluate the impact of these treatments on root development and aerial growth of the soybean plants. The experiment consisted of four distinct treatments, each with five repetitions, including an untreated control and applications of seaweed extract, copper carbonate, molybdenum, zinc oxide, and a combination of these elements. The plants were assessed at the V3/V4 phenological stage, focusing on root, stem, and leaf development, as well as green and dry biomass. The results showed no statistically significant differences among the treatments, indicating that none of the treatments had a superior effect compared to the control. It was concluded that, under the experimental conditions of this study, the tested seed treatments did not provide evident benefits to the initial development of soybeans, suggesting the need for further research to explore other nutrient and extract combinations that may enhance crop growth.

Keywords: *Glycine max* L. Merrill; Plant nutrition; Bioinputs.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela força, sabedoria e saúde concedidas ao longo desta jornada acadêmica. Sua presença constante e orientação foram fundamentais para a realização deste trabalho.

A minha família, expressei minha gratidão pelo apoio incondicional, paciência e compreensão. A minha mãe, irmã, vó, cunhado e namorada por acreditarem no meu potencial e me incentivarem a buscar sempre o melhor. Suas palavras de encorajamento e amor foram essenciais para que eu pudesse enfrentar os desafios e alcançar esta conquista.

Aos meus amigos, Douglas Miguel, Enrique Pravato, Gabriel Kurten, Gustavo Henrique Barbara, agradeço pelo companheirismo, pelas conversas, pelo incentivo e pelas valiosas trocas de conhecimento. Cada momento compartilhado durante esta caminhada contribuiu de maneira significativa para o meu crescimento pessoal e acadêmico.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão aos professores que contribuíram significativamente para a realização deste trabalho.

Agradeço à minha orientadora, Professora Dra. Marcibela Stülp pela orientação, paciência e conhecimento compartilhado durante todo o processo de pesquisa e elaboração deste trabalho.

A todos, meu sincero e profundo agradecimento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tratamento de sementes	11
Figura 2 - Rega do experimento	13
Figura 3 - Avaliação do experimento	14

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Classificação dos estádios de desenvolvimento da soja	17
Tabela 2 - Análises de variância para massa verde (gramas), massa seca (gramas), altura de plantas de extremo a extremo(cm) e diâmetro (cm) na cultura da soja, Ivaiporã-PR, 2024.	23
Tabela 3 - Médias (5 plantas) para massa verde (gramas), massa seca (gramas), altura de plantas extremo a extremo (cm) e diâmetro (cm) na cultura da soja, Ivaiporã-PR, 2024.	23

SUMÁRIO

1. Introdução	9
1.1 Problema.....	9
1.2 Hipótese.....	9
1.3 Objetivo.....	9
2. MATERIAL E MÉTODOS	9
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
3.1 Importância econômica da soja	12
3.2 Morfologia da soja	13
3.3 Estádios fenológicos da soja	14
3.4 Efeito do extrato de algas para a soja	16
3.5 Importância do zinco para a soja.....	16
3.6 Importância do molibdênio para a soja	17
3.7 Importância do cobre para a soja	17
3.8 Deficiência de Zn, Mo e Cu na soja.....	18
3.9 Marcha de absorção dos nutrientes.....	19
3.10 Tratamento de sementes.....	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	20
4.1 Análise Estatística dos dados.....	20
4.2 Discussão dos Resultados	21
4.2.1 Massa Verde e Massa Seca.....	21
4.2.2 Altura das Plantas	21
4.2.3 Diâmetro.....	22
4.2.4 Análise Estatística	22
5. CONCLUSÃO	22
REFERÊNCIAS	23

1. Introdução

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é uma das culturas agrícolas mais importantes no Brasil, destacando-se como uma das principais commodities do país. Introduzida na região Sul na década de 1940, sua produção rapidamente se expandiu para outras áreas, especialmente no Cerrado brasileiro, impulsionando o desenvolvimento econômico e a transformação do perfil agrícola do país. De acordo com a Conab (2024), o Brasil é hoje o maior produtor e exportador mundial de soja, desfrutando de vastas extensões de terras cultiváveis e tecnologias avançadas que impulsionam a produtividade. A soja desempenha um papel crucial na economia brasileira, contribuindo significativamente para as exportações, geração de empregos e aumento o PIB agrícola do país (HANSEL e OLIVEIRA, 2016).

A produção agrícola é influenciada pela presença equilibrada de nutrientes no solo, incluindo micronutrientes essenciais como boro, molibdênio e zinco. Embora as plantas absorvam esses elementos em quantidades menores em comparação aos nutrientes principais, sua deficiência pode resultar em uma diminuição significativa na atividade fisiológica das plantas, o que afeta diretamente a produtividade das culturas (HANSEL e OLIVEIRA, 2016).

O extrato de algas marinhas surge como uma ferramenta eficaz para o manejo nutricional da soja, especialmente no tratamento de sementes. Rico em nutrientes essenciais, como carboidratos, sais minerais, vitaminas, glicoproteínas, aminoácidos e citocininas, o extrato de algas oferece benefícios significativos para o desenvolvimento inicial da cultura. Quando aplicado no tratamento de sementes, acelera a germinação e aumenta o vigor das plântulas, promovendo um crescimento mais robusto, com raízes e parte aérea mais desenvolvidas. O fortalecimento do sistema radicular permite à planta explorar um maior volume de solo, garantindo melhor acesso a nutrientes e água, crucial para a resistência a estresses abióticos, como seca e temperaturas extremas (AGRITEC, 2009). Além disso, o extrato de algas contribui para a fotossíntese, acúmulo de biomassa, e promoção de interações eficazes entre as raízes e microrganismos benéficos, essenciais para a fixação biológica de nitrogênio e a absorção de fósforo, aumentando assim a produtividade e a qualidade final da cultura.

De acordo com Liebig (1840), a lei do Mínimo, é um princípio fundamental na agronomia e fisiologia vegetal, que estabelece que o crescimento e o

desenvolvimento das plantas são limitados pelo nutriente essencial presente em menor quantidade em relação às necessidades da planta, independentemente dos outros nutrientes estarem em níveis adequados ou em excesso. Este conceito é frequentemente ilustrado pela analogia do "barril de Liebig", onde cada tábua do barril representa um nutriente; a tábua mais curta determina a capacidade máxima do barril, simbolizando o nutriente limitante (EMBRAPA, 2014).

A lei do Mínimo enfatiza a importância de uma nutrição balanceada e a necessidade de identificar e corrigir deficiências específicas de nutrientes para otimizar a produtividade das culturas. A aplicação adequada deste princípio permite maximizar o rendimento das plantações ao assegurar que nenhum nutriente essencial esteja em falta, evitando assim que a produção seja comprometida pelo fator limitante. A Lei do Mínimo de Liebig reforça a ideia de que o potencial produtivo de uma planta está intrinsecamente ligado à disponibilidade equilibrada de todos os nutrientes essenciais (EMBRAPA, 2014).

De acordo com Sentelhas *et al.* (2017), ao longo do tempo, as condições meteorológicas têm desempenhado um papel fundamental na influência das altas produtividades nas culturas de larga escala. Com o estresse hídrico e a deficiência de nutrientes essenciais, a soja vem sofrendo para atingir o teto produtivo tão almejado pelos produtores. Dessa forma, são essenciais a adoção de manejos sustentáveis, como o tratamento de sementes e a nutrição adequada, para que a planta consiga um melhor desenvolvimento e suporte melhor o estresse climático causado pela falta de chuva.

Portanto, para que a planta suporte bruscas mudanças climáticas, hipotetiza-se que o tratamento de sementes com nutrientes como molibdênio, zinco e cobre, juntamente com o extrato de algas, permite a planta desenvolver melhor seu sistema radicular e parte aéreo, resultando em uma maior resistência a veranicos.

1.1 Problema

As condições meteorológicas e a nutrição de plantas são fundamentais para a produtividade das culturas, fatores adversos, como estiagens prolongadas, podem prejudicar a produção agrícola, afetando diretamente o crescimento e rendimento das plantas, tornando essencial a adoção de tratamentos alternativos que mitiguem esses impactos.

O tratamento de sementes é uma prática eficaz para garantir um bom estabelecimento inicial das culturas, protegendo-as contra patógenos e pragas e promovendo um desenvolvimento radicular mais robusto. A nutrição adequada, com a aplicação de micronutrientes desde as fases iniciais, é crucial para aumentar a resistência das plantas a estresses abióticos, como a deficiência hídrica e expressar toda a genética produtiva contida nas sementes.

1.2 Hipótese

O tratamento de sementes de soja com extrato de algas, cobre, molibdênio e óxido de zinco poderia promover um desenvolvimento inicial superior, resultando em maior crescimento radicular e da parte aérea das plantas, quando comparado às sementes não tratadas, contribuindo para uma maior mitigação das condições adversas e resistência às condições adversas do ambiente.

1.3 Objetivo

O objetivo deste estudo foi avaliar o impacto do tratamento de sementes com molibdênio (Mo), zinco (Zn) e cobre (Cu), em conjunto com extrato de algas, no desenvolvimento da cultura da soja.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Instituto Federal do Paraná (IFPR), Campus Ivaiporã - PR, localizado a uma latitude de $-24^{\circ} 15' 8.65''$ S e longitude de $-51^{\circ} 42' 51.91''$ W, com uma altitude média de 692 metros, na data de 22/03/2024. O ambiente experimental consistiu em vasos mantidos em uma estufa tipo arco para garantir condições de ambiente protegido.

A cultivar selecionada para o estudo foi a *Brasmax Zeus* IPRO, reconhecida por apresentar um ciclo precoce de desenvolvimento (120 dias), com ciclo de maturação 5.5, com uma taxa de germinação de 90%, hábito de crescimento indeterminado e com um peso de mil sementes (PMS) de 190 g. As sementes foram semeadas em substrato padrão, visando à redução de variáveis no experimento.

Os vasos utilizados tinham dimensões específicas, com 29 cm de altura, 19 cm de diâmetro na base e 24,5 cm de diâmetro, com capacidade para 8 litros de substrato. Cada vaso recebeu a semeadura de 10 sementes, espaçadas em 5 cm, com 3 cm de profundidade, posteriormente a germinação foi realizada o desbaste removendo plantas mal germinadas, deixando 5 plantas por vaso.

As sementes foram submetidas a um tratamento utilizando uma solução composta por 2 mL de extrato de algas diluídos em 8 mL de água destilada. A mistura foi aplicada a 1 kg de sementes. O mesmo procedimento foi replicado utilizando molibdênio, zinco e cobre como agentes de tratamento, mantendo-se as mesmas proporções de 2 mL da solução correspondente para 8 mL de água destilada para 1 kg de sementes.

Figura 01: Tratamento das sementes.



Fonte: Autor, 2024.

Foram realizados 4 tratamentos, totalizando 20 repetições, sendo:

- 1- Testemunha, contendo apenas as sementes no substrato.
- 2- Aplicação de extrato de algas, (2 mL para cada 1 kg de sementes).
- 3- Aplicação de cobre, molibdênio e zinco, (2 mL para cada 1 kg de sementes).

4- Aplicação combinada de extrato de algas (2 mL para cada 1 kg de sementes) com carbonato de cobre, molibdênio e óxido de zinco (2 mL para cada 1 kg de sementes).

A cultivar em questão foi irrigada de acordo com a capacidade de campo do substrato, que é definida como a quantidade de água retida no solo após a drenagem por gravidade ter cessado e antes de começar a drenar a água por tensão capilar. Essa prática visa garantir que o solo mantenha níveis adequados de umidade para o desenvolvimento saudável das plantas, otimizando assim o aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis e promovendo uma irrigação eficiente e sustentável. Por meio da capacidade de campo, foi determinada uma média de 500 mL por vaso de rega, tendo com frequência um dia sim e outro não.

Figura 02: Rega do experimento.



Fonte: Autor, 2024.

A avaliação das plantas foi realizada no estágio fenológico V3/V4, objetivando avaliar o desenvolvimento radicular e o crescimento da parte aérea. As plantas foram cuidadosamente removidas dos vasos, lavadas em água corrente e secas antes das medições. Foram utilizados instrumentos como fita métrica e paquímetro para avaliar características como o desenvolvimento de raízes, caules e folhas. Além disso, a

massa verde e a massa seca das plantas foram determinadas por meio de pesagem com uma balança de precisão, após secagem em estufa a 60°C por 70 horas para identificar a diferença de massa seca de cada tratamento (EMBRAPA, 2005).

Figura 03: avaliação do experimento.



Fonte: Autor, 2024.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Importância econômica da soja

A soja (*Glycine max*) representa uma das culturas mais amplamente cultivadas globalmente, oferecendo um valor agregado substancial devido à sua significativa importância como fonte de proteínas e sua versatilidade em diversas aplicações, que abrangem desde alimentação humana e animal até a produção de biocombustíveis, plásticos e solventes industriais. No contexto do mercado brasileiro, a soja é considerada uma das commodities agrícolas de maior importância, sendo altamente

valorizada e conferindo ao Brasil o status de principal produtor e exportador mundial desse produto (EMBRAPA, 2021).

De acordo com a CONAB (2024), a produção de soja mundial 23/24, foi de 369,029 milhões de toneladas, sendo 136,029 milhões de hectares de área plantada. Já no Brasil, a produtividade total foi de 154.566,3 milhões de toneladas, sendo 44.062,6 milhões de hectares de áreas plantadas.

3.2 Morfologia da soja

A soja é uma planta anual da família das leguminosas e subfamília Fabaceae, desenvolve de forma ereta e é herbácea. Sua altura varia entre 30 e 100 cm, o que afeta o número de ramificações e outros aspectos do seu desenvolvimento (MÜLLER, 1981).

No sistema radicular, a soja possui uma raiz principal axial e raízes secundárias. Estas últimas formam interações simbióticas com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, que fixam o nitrogênio atmosférico, convertendo-o em nitrato, assimilável pela planta, enquanto a planta fornece carboidratos às bactérias (NOGUEIRA *et al.* 2009).

O caule da soja é herbáceo, ereto, pubescente e ramificado, desenvolvendo-se a partir do eixo embrionário após a germinação. O crescimento do caule é ortotrópico e existem três tipos de crescimento: determinado, semi-determinado e indeterminado, com ramos laterais que podem ser eretos ou semi-eretos (SILVA *et al.*, 2019).

As folhas da soja são classificadas em quatro tipos: cotiledonares, que armazenam reservas para o desenvolvimento inicial; unifolioladas, localizadas acima do nó cotiledonar; trifolioladas, encontradas no caule principal e nas ramificações; e prófilos, situados na base das ramificações (LERSTEN & CARLSON, 2005; SEDIYAMA, 2015).

As flores da soja possuem uma estrutura completa e surgem em ramos terminais ou axilares. A coloração das flores varia de branco a púrpura, dependendo do cultivar (VERNETTI & JUNIOR, 2009). A floração responde a estímulos luminosos e envolve o desenvolvimento dos órgãos reprodutivos masculinos e femininos, protegidos pelo cálice e pela corola (NOGUEIRA *et al.* 2009).

O fruto da soja é uma vagem tipo legume que varia em tamanho e forma. Quando madura, a vagem geralmente mede de 2 a 7 cm de comprimento e 1 a 2 cm

de largura, com formato achatado. As sementes de soja variam em forma, cor e tamanho, podendo ser arredondadas, achatadas ou alongadas. A cor dos grãos pode variar entre amarelo, preto ou verde, enquanto o hilo tem tonalidades de marrom, preto, vermelho ou cinza. A produtividade pode chegar a até 400 grãos por planta, com vagens contendo de 1 a 5 grãos, mas a maioria das cultivares apresenta de 2 a 3 sementes por vagem (MÜLLER, 1981).

Segundo a Embrapa Soja, após as proteínas (aproximadamente 40%), os carboidratos são os componentes mais abundantes na soja, correspondendo a cerca de 30 a 35% do grão. Dos carboidratos solúveis, a sacarose representa cerca de 60%, enquanto os oligossacarídeos estaquiose e rafinose representam aproximadamente 36% e 4%, respectivamente. A soja também possui carboidratos insolúveis, incluindo celulose, hemicelulose, lignina e traços de amido, encontrados principalmente na parede celular e conhecidos como fibras insolúveis.

3.3 Estádios fenológicos da soja

Os estádios fenológicos da soja, que descrevem as diferentes fases de desenvolvimento da planta, podem ser correlacionados com as necessidades específicas da cultura em cada estágio. A classificação do ciclo da soja em estádios vegetativos é denotada por "V", e estádios reprodutivos, indicados por "R". Cada estágio específico é identificado por um número que segue a letra "V" ou "R", porém, os estádios de emergência (VE) e cotilédone (VC) são representados apenas por letras. A classificação das plantas é fundamentada na análise das características das folhas, flores, desenvolvimento das vagens e grãos, conforme detalhado na Tabela 1, descrito por FARIAS *et al.* (2020).

Tabela 1 - Classificação dos estádios de desenvolvimento da soja.

Estádios	Denominação	Descrição
VE	Emergência	Cotilédones acima da superfície do solo
VC	Cotiledonar	Cotilédones completamente abertos
V1	Primeiro nó	Folhas unifolioladas completamente desenvolvidas
V2	Segundo nó	Primeira folha trifoliolada completamente desenvolvida
V3	Terceiro nó	Segunda folha trifoliolada completamente desenvolvida
V4	Quarto nó	Terceira folha trifoliolada completamente

		desenvolvida
V5	Quinto nó	Quarta folha trifoliolada completamente desenvolvida
V6	Sexto nó	Quinta folha trifoliolada completamente desenvolvida
Vn	Enésimo nó	Ante-enésima folha trifoliolada completamente desenvolvida
R1	Início da floração	Uma flor aberta em qualquer nó do caule
R2	Floração plena	Uma flor aberta em um dos dois últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida
R3	Início na formação de vagem	Vagem com 5 mm de comprimento em um dos quatro últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida
R4	Vagem completamente desenvolvida	Vagens com 2 cm de comprimento num dos quatro últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida
R5	Início do enchimento dos grãos	Grãos com 3 mm de comprimento em vagens num dos quatro últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida
R6	Grãos completamente desenvolvidos	Vagem contendo grãos verdes preenchendo as cavidades da vagem de um dos quatro últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida
R7	Início da maturação	Uma vagem normal no caule com coloração de madura
R8	Maturação plena	95% das vagens com coloração de madura

Fonte: Farias, 2020

3.4 Efeito do extrato de algas para a soja

O extrato de algas marinhas é um depósito natural de nutrientes essenciais, incluindo carboidratos e substâncias vegetais de ocorrência natural. As algas, que se nutrem dos elementos ativos do mar, são ricas em sais minerais como iodo, magnésio, potássio, ferro e sódio, além de conterem uma ampla gama de vitaminas, como A, B1, B3, B6, B12, C, D e E. Outros componentes importantes incluem glicoproteínas, aminoácidos e citocininas (AGRITEC, 2009). Quando aplicado no tratamento de sementes de soja, o extrato de algas oferece uma série de benefícios significativos para o desenvolvimento inicial da cultura. Este tratamento acelera a

germinação das sementes e aumenta o vigor das plântulas, resultando em um crescimento mais robusto, com raízes e parte aérea mais desenvolvidas. O fortalecimento do sistema radicular, promovido pelo extrato de algas, permite à planta explorar um maior volume de solo, garantindo melhor acesso a nutrientes e água, o que é crucial para a resistência a estresses abióticos, como seca e temperaturas extremas. As substâncias bioativas presentes no extrato de algas regulam o equilíbrio hídrico e protegem as células contra danos oxidativos, contribuindo para uma maior resistência das plantas. Além disso, o extrato de algas atua como um suplemento nutricional, favorecendo a fotossíntese e o acúmulo de biomassa, o que resulta em plantas mais vigorosas e com maior potencial de rendimento. Outro benefício importante é a promoção de uma interação mais eficaz entre as raízes e microrganismos benéficos, como rizobactérias e fungos micorrízicos, essenciais para a fixação biológica de nitrogênio e a absorção de fósforo (AGRITEC, 2009). Assim, o uso de extrato de algas no tratamento de sementes de soja pode contribuir significativamente para o aumento da produtividade e da qualidade final da cultura.

3.5 Importância do zinco para a soja

O óxido de zinco participa em diversos processos nos vegetais, como, fotossíntese, respiração, controle hormonal, síntese de aminoácidos e proteínas, redução do nitrato e desintoxicação de radicais livres (PRADO *et al.*, 2008).

O Zinco (Zn) é essencial para as plantas, atuando na síntese de proteínas e no crescimento meristemático, sendo necessário para a formação do aminoácido triptofano, precursor do ácido indolilacético. No entanto, o Zn é pouco móvel na planta e sua disponibilidade pode ser afetada por vários fatores (BERTOL *et al.*, 2010; SULINO E BUSO, 2021). Na soja, o zinco desempenha um papel crucial no crescimento da planta e na formação de grãos. A soja precisa absorver cerca de 40 g de Zn por tonelada de grãos, com 66% desse Zn acumulando nos grãos, indicando uma alta exportação. O Zinco pode ser aplicado na cultura da soja por meio do solo e das sementes (PRADO *et al.*, 2008).

3.6 Importância do molibdênio para a soja

O Molibdênio (Mo) desempenha um papel vital na atividade da enzima nitrogenase, presente nas bactérias fixadoras de nitrogênio do gênero *Rhizobium*, que convertem o nitrogênio atmosférico (N₂) em amônia (NH₃). Isso é fundamental para

a simbiose entre as plantas leguminosas, como a soja, e essas bactérias (GONZALEZ-GUERRERO *et al.*, 2014). O Mo pode ser aplicado de várias maneiras, incluindo no sulco de plantio, na folhagem, no tratamento de sementes e no enriquecimento nutricional das sementes (OLIVEIRA *et al.*, 2017). A aplicação de Mo nas sementes, embora menos comum, mantém os níveis adequados de nutrientes ao longo do ciclo da cultura. Esse processo ocorre antes da aplicação do inoculante, favorecendo a simbiose entre as plantas leguminosas e as bactérias fixadoras de nitrogênio (ALBINO E CAMPO, 2001).

3.7 Importância do cobre para a soja

O cobre apresenta atividade protetora para as células contra o estresse oxidativo. O cobre está entre os compostos que protegem as membranas celulares contra ação de espécies reativas de oxigênio, impedindo a oxidação lipídica e proteica, e assim retardando o processo de envelhecimento celular. É importante também, pois o cobre é um elemento importante no metabolismo das proteínas respiratórias e carboidratos, e desempenha um papel essencial no processo de Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), (MENGEL E KIRKBY, 2001). Em suma, a soja responde bem à fertilização com Cu, podendo obter rendimentos na sua produtividade (MOREIRA E MORAES, 2019).

O cobre (Cu) desempenha também papel essencial na nutrição mineral da soja. Ele é fundamental para a fotossíntese, atuando como componente de várias proteínas envolvidas nesse processo. Além disso, o cobre é um cofator de diversas enzimas, desempenhando um papel crucial na regulação e facilitação de várias reações metabólicas na planta. Ele também está envolvido na absorção de cálcio (Ca^{2+}), promovendo a ligação dos canais catiônicos não seletivos na membrana plasmática das células vegetais, o que facilita o influxo de íons Ca^{2+} e contribui para o crescimento radicular e a absorção eficiente de nutrientes. Em suma, a presença adequada de cobre é essencial para o funcionamento adequado da soja, afetando processos como fotossíntese, ativação enzimática, absorção de cálcio e desenvolvimento radicular. Sua deficiência pode resultar em sintomas visíveis de estresse e redução no crescimento e na produtividade da planta (EMBRAPA, 2022).

3.8 Deficiência de Zn, Mo e Cu na soja

A deficiência de zinco (Zn) em plantas afeta principalmente as folhas mais novas, devido à baixa mobilidade desse elemento. A falta de zinco diminui o nível de RNA, prejudicando a síntese de proteínas. Os sintomas típicos incluem o encurtamento dos internódios, folhas novas pequenas e lanceoladas com clorose e folhas mais antigas com coloração amarelo-castanha. Em casos de toxicidade de zinco, as plantas exibem coloração avermelhada nas nervuras e pecíolos (SFREDO E BORKERT, 2004; MASCARENHAS *et al.*, 2013).

A deficiência de molibdênio (Mo), frequentemente apresenta sintomas semelhantes à deficiência de Nitrogênio (N). O Mo é crucial para a incorporação de N nos tecidos de leguminosas, devido à sua importância na enzima nitrogenase. Quando as plantas de soja carecem desse micronutriente, suas folhas tendem a se tornar amareladas e retorcidas. À medida que a deficiência progride, as margens das folhas, as nervuras centrais e as áreas entre as nervuras podem tornar-se necróticas (com danos celulares), (SFREDO E OLIVEIRA, 2010; FAROOQ *et al.*, 2012).

O cobre (Cu) é um nutriente essencial para as plantas, com níveis críticos de deficiência normalmente situados na faixa de 1-5 mg kg⁻¹ no solo. No entanto, é importante destacar que concentrações excessivas de cobre podem ser prejudiciais e tóxicas para as células das plantas, causando problemas no desenvolvimento. Assim sendo, equilibrar os níveis de cobre no solo é crucial para o bom desenvolvimento das plantas, evitando tanto a deficiência quanto a toxicidade de cobre (DUCIC e POLLE, 2005). Os sintomas de deficiência de cobre na soja são: clorose, morte apical e alteração na forma das folhas (MASCARENHAS *et al.*, 2013).

Em suma, quando as plantas são cultivadas em condições nutritivas ideais, elas conseguem ter um bom desempenho, conseqüentemente uma produtividade melhor. Portanto, a aplicação de quantidades apropriadas de nutrientes assegura que não ocorra deficiência nutricional e previne problemas secundários nas plantações, como a toxicidade causada pelo excesso de nutrientes.

3.9 Marcha de absorção dos nutrientes

De acordo com a Embrapa (2016), a fase compreendida entre 75 a 90 dias após a emergência da soja é crítica para a absorção de micronutrientes como molibdênio, zinco e cobre. Esses elementos são essenciais para o metabolismo da planta, desempenhando funções cruciais na fixação biológica de nitrogênio, na

atividade enzimática e na formação de clorofila, o que impacta diretamente o desenvolvimento e a produtividade da cultura. Vale ressaltar que essa fase pode variar conforme as condições climáticas, o metabolismo da planta e o ciclo da cultura, influenciando a demanda e a eficiência na absorção desses nutrientes.

3.10 Tratamento de sementes

As sementes desempenham um papel crucial na agricultura, sendo a base para o cultivo da maioria das culturas e alimentos. A importância de preservar a qualidade e sanidade das sementes tem levado ao desenvolvimento de diversas práticas agrícolas. A necessidade de garantir sementes saudáveis impulsionou a adoção de várias técnicas agrícolas, visando manter a produtividade e a segurança alimentar (SILVA *et al.*, 2019).

O tratamento de sementes envolve a aplicação de agentes físicos, químicos ou biológicos nas sementes. Essas práticas visam não apenas eliminar pragas e doenças, mas também proporcionar condições ideais para germinação, emergência e crescimento saudável das plantas. O objetivo é garantir um desenvolvimento robusto das plantas a partir das sementes tratadas (FORSBERG *et al.*, 2003).

As sementes podem ser tratadas com micronutrientes de duas maneiras: através do priming, que envolve a imersão em uma solução nutritiva por um período específico; ou por meio do revestimento com micronutrientes, como Mo, Cu, Mn e Zn, aplicados para melhorar a disponibilidade desses elementos durante o crescimento das plantas. Essas técnicas visam otimizar a absorção de nutrientes pelas sementes, promovendo um desenvolvimento saudável e robusto das plantas (FORSBERG *et al.*, 2003).

A soja, ao contrário de algumas outras plantas fabáceas, pode satisfazer a maior parte de suas necessidades de nitrogênio por meio da fixação simbiótica. Para garantir esse processo, é comum praticar a inoculação da semente de soja ou do solo ao redor com a bactéria *Bradyrhizobium japonicum*. Além disso, o tratamento de sementes de soja com micronutrientes é realizado para otimizar a fixação simbiótica de nitrogênio, visando aprimorar a saúde e o desenvolvimento da planta (FBN) (ZILLI *et al.*, 2010).

O tratamento de sementes com molibdênio (Mo) é comum devido ao seu papel na fixação simbiótica de nitrogênio (FBN) e na assimilação de NO_3^- , por meio da enzima nitrato redutase (TAIZ e ZEIGER, 2010). Quanto ao zinco (Zn), seu uso no

tratamento de sementes é essencial para o crescimento da plântula e na codificação de enzimas necessárias para a remobilização de reservas (MARSCHNER, 2012).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise Estatística dos dados

Os dados foram submetidos à verificação dos pressupostos do modelo estatístico para a normalidade e testados de acordo com o teste de Shapiro-Wilk e Bartlett. Os dados foram submetidos à análise de variância com o programa R e as médias comparadas pelo teste de agrupamento de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 2. Análises de variância para massa verde (gramas), massa seca (gramas), altura de plantas de extremo a extremo(cm) e diâmetro (cm) na cultura da soja, Ivaiporã-PR, 2024.

Fontes de Variação	GL	Massa Verde (Gramas)	Massa Seca (Gramas)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)
Tratamentos	3	1,3833	0,625	352,45	0,102
Resíduo	16	22,77	0,466	167,52	0,090
Média		11,65	3,39	96,75	1,91
CV (%)		40,96	20,19	13,85	15,77
Shapiro-wilk		0,100	0,202	0,0821	0,330
Bartlett		0,944	0,595	0,039	0,938

*,** significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 3. Médias (5 plantas) para massa verde (gramas), massa seca (gramas), altura de plantas extremo a extremo (cm) e diâmetro (cm) na cultura da soja, Ivaiporã-PR, 2024.

Médias	Massa Verde	Massa Seca	Altura	Diâmetro
Tratamento 1	11,6a	2,99a	84,6a	1,76a
Tratamento 2	11,2a	3,34a	98,2a	1,82a
Tratamento 3	11,4a	3,35a	100,6a	2,00a
Tratamento 4	12,4a	3,85a	103,6a	2,06a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

4.2 Discussão dos Resultados

4.2.1 Massa Verde e Massa Seca

Embora tenha sido observada uma variação nas médias de massa verde e massa seca entre os tratamentos, essas diferenças não foram estatisticamente significativas. A massa verde variou de 9,45 g (tratamento testemunha) a 12,90 g (tratamento com extrato de algas + Mo, Cu e Zn), enquanto a massa seca variou de 2,65 g (tratamento testemunha) a 3,45 g (tratamento com extrato de algas + Mo, Cu e Zn). Estes resultados indicam que, embora houve um aumento na biomassa com a aplicação de extrato de algas e micronutrientes, as diferenças não foram suficientes para serem consideradas estatisticamente diferentes. Estudos semelhantes, como o de Moreira *et al.* (2012), que realizou tratamento de sementes de soja com micronutrientes, também não observaram melhorias significativas na biomassa da soja.

4.2.2 Altura das Plantas

A altura das plantas também apresentou variação entre os tratamentos, com médias variando de 85,20cm (tratamento testemunha) a 102,10cm (tratamento com Mo, Cu e Zn). No entanto, assim como na massa verde e seca, essas variações não foram significativas do ponto de vista estatístico. Isso demonstra que os tratamentos aplicados não diferiram entre si no crescimento em altura das plantas de soja. Este achado está de acordo com a pesquisa de Silva *et al.* (2019), que não encontrou diferenças significativas na altura das plantas de soja com tratamentos similares em condições controladas.

4.2.3 Diâmetro

O diâmetro das plantas seguiu uma semelhança, variando de 1,70 cm (tratamento testemunha) a 1,95 cm (tratamento com extrato de algas + Mo, Cu e Zn), sem diferenças estatísticas significativas. Esses resultados indicam que a aplicação dos tratamentos não proporcionou para a variável analisada incrementos produtivos até o estágio fenológico avaliado.

4.2.4 Análise Estatística

Os testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variâncias (Bartlett) confirmaram que os dados estavam de acordo com os pressupostos do modelo estatístico utilizado. A análise de variância (ANOVA) e o teste de agrupamento de Scott-Knott não identificaram diferenças significativas entre os tratamentos para as variáveis analisadas.

5. CONCLUSÃO

A ausência de diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos aplicados às sementes de soja indica que, sob as condições experimentais deste estudo, a aplicação de extrato de algas e micronutrientes não teve um impacto decisivo no desenvolvimento inicial da cultura. Contudo, é necessário realizar mais pesquisas com diferentes condições experimentais ou períodos mais longos de observação para determinar o verdadeiro potencial desses tratamentos. A continuidade dessa pesquisa pode oferecer insights valiosos para a agricultura, especialmente em condições de estresse ambiental ou solos deficientes em nutrientes, sendo essencial na busca por práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ALBINO, U. B.; CAMPO, R. J. Efeito de fontes e doses de molibdênio na sobrevivência do *Bradyrhizobium* e na fixação biológica de nitrogênio em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 3, p. 527–534, mar. 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/vyYy5TWsgMSqW3YdWBLrRwJ/?lang=pt>.

ARREDONDO-PETER, R. *et al.* Fixating on metals: new insights into the role of metals in nodulation and symbiotic nitrogen fixation. **Frontiers in Plant Science**, [S.l.], v. 5, n. 45, 2014. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2014.00045/full>.

CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves. **Plant Physiology**, v. 98, p. 1222-1227, 1990.

DUCIC, T.; POLLE, A. Transport and detoxification of manganese and copper in plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 17, n. 1, p. 103-112, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjpp/a/Bq4t9FdRtr8DQ7LyrbBs4Bv/?format=pdf&lang=en>.

ESPÍNDOLA, José Antonio Alves; *et al.* Plantas de Cobertura: **fundamentos para uso em sistemas de produção agrícola sustentável**. Piracicaba: ESALQ, 2005. 223 p. Disponível em: https://www.esalq.usp.br/biblioteca/pdf/Livro_Plantas_de_Cobertura_completo.pdf.

FIORINI, Ivan Vitor. Manejo de doenças na cultura da soja com biofertilizante e fosfito. **Circular Técnica da Embrapa Soja**, Londrina, PR, n. 152, 2022. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1148968/1/CBSoja-2022-152.pdf>.

FORSBERG, G., ANDERSSON, S., AND JOHNSSON, L. Evaluation of hot, humid air seed treatment in thin layers and fluidized beds for seed pathogen sanitation. **Journal**

of Plant Diseases and Protection, v. 109, n. 4, p. 357–370. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/43216203>.

HANSEL, G. P.; OLIVEIRA, A. S. Micronutrientes na Agricultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/vD9tmY7dffrLmvLHvPZswkp/?format=pdf&lang=pt>.

LEMES, Elisa *et al.* Tratamento de sementes de soja com zinco: efeito na qualidade fisiológica e produtividade. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 13, n. 2, p. 76-86, mai./ago. 2017. Disponível em: <https://revistas.unoeste.br/index.php/ca/article/view/1855>.

MELLO PRADO, R. de, MARIA ROMUALDO, L., EDUARDO ROZANE, D., DE AQUINO VIDAL, A. and VALENTE MARCELO, A. Modos de aplicação de zinco na nutrição e na produção de matéria seca do milho. **Bioscience Journal**, vol. 24, no. 1. 2008. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6683>.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. 5 ed. Dordrecht: Kluwer **Academic Publishers**, 2001. 849p. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01904167.2019.1655039>.

NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; MERTZ-HENNING, L. M.; FOLONI, J. S. S.; MORAES, L. A. C.; & GONCALVES, S. L. **Tecnologias de produção de soja**. Embrapa, Soja, p. 347. Londrina, 2020.

NOGUEIRA, A. P. O.; SEDIYAMA, T.; BARROS, H. B.; TEIXEIRA, R. C. Morfologia, crescimento e desenvolvimento. **Tecnologias de produção e usos da soja**. p. 7-16. Londrina, 2009.

OLIVEIRA, C. O., Pinto, C. C., Garcia, A., Bettiol, J. V. T., Sá, M. E. de ., & Lazarini, E. Produção de sementes de soja enriquecidas com molibdênio. **Revista Ceres**, v. 64, n. 3, p. 282–290, maio 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201764030009>.

PEDÓ, Tadeu; SALTON, J.C.; CRUSCIOL, C.A.C. **Massa seca e massa verde em sistemas de produção.** 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/113503/1/Massa-seca.pdf>.

PEREIRA, Fábio. Importância da nutrição e adubação da soja no Brasil. **Informações Agronômicas**, Brasília, DF, n. 153, 2017. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/E713B266E48E24C983257F850067F82A/\\$FILE/Jornal153.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/E713B266E48E24C983257F850067F82A/$FILE/Jornal153.pdf).

Sentelhas, P. C., Battisti, R., & Sako, H. (2017). Clima e manejo na produtividade de soja. **Revista Cultivar**. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/clima-e-manejo-na-productividade-de-soja>.

SFREDO, G. J.; DE OLIVEIRA, M. C. N. **Soja: molibdênio e cobalto.** Embrapa Soja- Documentos (INFOTECA-E), 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/859439/1/Doc322online1.pdf>.

SILVA, R. P.; MOREIRA, M. A.; DIAS, D. C. F. S. The influence of applying foliar micronutrients at nodulation and the physiological properties of common soybean plants. **Agriculture**, v. 9, n. 7, p. 144, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/9/7/144>.

SILVA, S. C. et al. Tratamento de sementes de soja com micronutrientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 50, n. 6, e20200054, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/FHSnsXygQdrfJ33MWgQFjsD/?lang=pt>. Acesso em: 3 jun. 2024.

SOUSA, Gilmar Rodrigues de. **Nutrição mineral de plantas.** Londrina: Embrapa Soja, 2014. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1002672/1/GilmarAgapomiDez2014.pdf>.

ZILLI, J. E.; GIANLUPPI, V.; CAMPO, R. J.; ROUWS, J. R. C.; HUNGRIA, M. Inoculação da soja com Bradyrhizobium no sulco de semeadura alternativamente à inoculação de sementes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 6, p. 1875-1881, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n6/11.pdf>.

ZOBIOLE, L.H.S.; FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E.; RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J. Estádios fenológicos e marcha de absorção de nutrientes da soja. **Embrapa**, 2016.

Disponível em:

<file:///C:/Users/Cliente/Downloads/FORQuadroESTADIOSOJAFINAL.pdf>.