

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**APLICAÇÃO DE MOLIBDÊNIO COMBINADA COM COBRE,
MANGANÊS E ZINCO NO TRATAMENTO DE SEMENTES DE SOJA**

Guilherme da Fonseca Lopes

Jaboticabal - SP

1º semestre/2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**APLICAÇÃO DE MOLIBDÊNIO COMBINADA COM COBRE,
MANGANÊS E ZINCO NO TRATAMENTO DE SEMENTES DE SOJA**

Guilherme da Fonseca Lopes

Orientador: Prof. Dr. Renato de Mello Prado

Coorientadores: Dra. Gelza Carliane Marques Teixeira

Dr. José Lucas Farias da Silva

Trabalho apresentado à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias -
UNESP, Campus de Jaboticabal, para
graduação em ENGENHARIA
AGRONÔMICA.

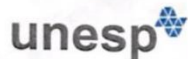
Jaboticabal - SP

1º semestre/2022

L864a	<p>Lopes, Guilherme da Fonseca</p> <p>Aplicação de Molibdênio combinada com Cobre, Manganês e Zinco no tratamento de sementes de soja / Guilherme da Fonseca Lopes. -- Jaboticabal, 2022</p> <p>39 p. : il., fotos</p> <p>Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal</p> <p>Orientador: Renato de Mello Prado</p> <p>Coorientadora: Gelza Charliane Marques Teixeira</p> <p>1. Micronutrientes para soja. 2. Nutrição nitrogenada. 3. Produtividade de soja. I. Título.</p>
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CÂMPUS DE JABOTICABAL



DEPARTAMENTO: Ciências da Produção Agrícola

CERTIFICADO TRABALHO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

TÍTULO: "Aplicação de Molibdênio combinada de cobre, manganês e zinco no tratamento de sementes de soja"

ACADÊMICO: Guilherme da Fonseca Lopes

CURSO: ENGENHARIA AGRONÔMICA

ORIENTADOR: Prof. Dr. Renato de Mello Prado

PERÍODO: 11/2020 À 03/2021

Este trabalho é recomendado para compor a base de dados CAPELO. Sim Não

BANCA EXAMINADORA:

	(Nomes)	(Assinaturas)
Presidente	Prof. Dr. Renato de Mello Prado	
Membro	M.Sc. Livia Tálita da Silva Carvalho	
Membro	Dr. Jonas Pereira de Souza Júnior	

Jaboticabal 13 / 08 / 2022

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 23 / 08 / 2022 "Ad referendum"

Chefe do Departamento

Prof. Dr. Leonardo Bianco de Carvalho
Chefe do Depto. de Ciências da Produção Agrícola
FCAV/UNESP

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter chegado até aqui, mesmo com as dificuldades de uma pandemia, deu-me saúde e forças para ir até o fim.

A toda minha família, em especial meus pais, Renato Santos Lopes e Camila Isabel da Fonseca Lopes e minha irmã, Giovanna da Fonseca Lopes por terem me dado todo apoio e suporte necessário nessa caminhada e em todas as minhas decisões.

A todos os meus amigos de Jaboticabal, em especial meus irmãos da República Litrasso, pelo auxílio do meu crescimento profissional e pessoal, por ser apoio longe de casa e fazer a caminhada dentro da universidade ser mais leve.

A todos do departamento, ao meu orientador, Professor Doutor Renato de Mello Prado, aos meus coorientadores, Dra. Gelza Carliane Marques Teixeira e MSc. José Lucas Farias da Silva, pela oportunidade da realização deste trabalho e por toda orientação fornecida mesmo em momentos de pandemia.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 Importância do Mo, Cu, Mn e Zn na fixação biológica de nitrogênio	11
2.2 Deficiência e toxicidade de Mo, Cu, Mn e Zn em plantas de soja.....	12
2.3 Tratamento de sementes de soja	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1 Material vegetal e condições de crescimento	15
3.2 Tratamentos e delineamento experimental	15
3.3 Variáveis analisadas.....	16
3.3.1 Conteúdo de clorofilas e carotenoides	16
3.3.2 Eficiência quântica do fotossistema II (PSII) (Fv/Fm).....	17
3.3.3 Índice de coloração verde	17
3.3.4 Índice de extravasamento de eletrólitos	17
3.3.5 Compostos fenólicos	18
3.3.6 Massa seca da parte aérea.....	18
3.3.7 Acúmulo de N na parte aérea	18
3.3.8 Componentes de produtividade	18
3.3.9 Análise estatística	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5. CONCLUSÕES	28
6. REFERÊNCIAS	29

RESUMO

APLICAÇÃO DE MOLIBDÊNIO COMBINADA COM COBRE, MANGANÊS E ZINCO NO TRATAMENTO DE SEMENTES DE SOJA

A soja [*Glycine max* (L.)] é a cultura oleaginosa mais produzida e consumida no mundo inteiro. Um dos maiores desafios na produção de soja está relacionado a nutrição da cultura, principalmente no fornecimento de nitrogênio (N), sendo que a cultura tem toda a demanda nutricional por N atendida pela fixação biológica de nitrogênio (FBN). Contudo, a fixação biológica de N e a produtividade da cultura da soja são afetadas pela falta do fornecimento adequado de micronutrientes, com destaque para o molibdênio (Mo), o cobre (Cu), o manganês (Mn) e o zinco (Zn). O tratamento das sementes com micronutrientes tem sido feito visando potencializar a FBN, o fornecimento do Mo tem sido usual no tratamento de sementes de soja, no entanto, a combinação com os demais micros não tem sido estudada. O objetivo desse estudo foi determinar a melhor dose para aplicação combinada de Mo, Cu, Mn e Zn para tratamento de sementes de soja que proporcione maior eficiência na nutrição nitrogenada e na produtividade. Foi utilizado um produto à base de Mo, Cu, Mn e Zn, sendo os tratamentos constituídos por 5 doses: 0, 50, 100, 200 e 400 mL ha⁻¹ ou em 65 kg de sementes de soja. Determinou-se o acúmulo de N na parte aérea, o conteúdo de clorofilas e carotenoides, a eficiência quântica do fotossistema II, o índice de coloração verde e de extravasamento de eletrólitos, os compostos fenólicos e a produtividade da cultura. A aplicação de Mo combinada com Cu, Mn e Zn no tratamento de sementes de soja proporcionou efeito no acúmulo de N na parte aérea. O índice de cor verde e os teores de carotenoides aumentaram com as doses crescentes do produto, com reflexos na eficiência fotossintética. Contudo, a dose de 400 mL ha⁻¹ induziu efeito tóxico nas plantas evidenciada pelo aumento do índice de extravasamento de eletrólitos e diminuição da massa seca e produtividade. O uso da dose de 100 mL ha⁻¹ de um produto à base de Mo, Cu, Mn e Zn no tratamento de sementes aumenta a produtividade de soja.

Palavras-chave: fitotoxicidade, micronutrientes, produtividade, *Glycine max* (L.)

ABSTRACT

APPLICATION OF MOLYBDENUM COMBINED WITH COPPER, MANGANESE AND ZINC IN THE TREATMENT OF SOYBEAN SEEDS

Soybean [*Glycine max* (L.)] is the largest oilseed crop produced and consumed worldwide. One of the biggest challenges in soybean production is related to crop nutrition, especially nitrogen (N) supply. Biological N fixation and soybean crop productivity reflect the adequate supply of micronutrients. We can highlight cobalt (Co), manganese (Mn), copper (Cu), molybdenum (Mo), and zinc (Zn). Seed treatment with micronutrients has been done with the aim of enhancing FBN. We aim in this study to determine the best dose for application of Mo combined with Cu, Mo, and Zn for soybean seed treatment that provides greater efficiency in nitrogen nutrition and yield. A commercial product based on Mo, Cu, Mn, and Zn was used, and the treatments consisted of 5 doses of the product: 0, 50-, 100-, 200-, and 400- mL ha⁻¹ or in 65 kg of soybean seeds. Shoot N accumulation, chlorophyll, and carotenoid content, photosystem II quantum efficiency, green color, and electrolyte leakage index were analyzed, as well as phenolic compounds and crop yield. The application of Mo combined Cu, Mn, and Zn in soybean seeds provided an effect on N accumulation in the leaves. The green color index and carotenoid contents increased with increasing dose of the product, reflecting on photosynthetic efficiency. However, the dose of 400 mL ha⁻¹ induced a toxic effect on plants, evidenced by the increase of electrolyte leakage index and decrease of both dry matter and productivity. The use of a dose of 100 mL ha⁻¹ of a product based on Mo, Cu, Mn, and Zn in seed treatment increases soybean yield.

Keywords: phytotoxicity, micronutrients, productivity, *Glycine max* (L.)

1. INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.)] é a cultura oleaginosa mais produzida e consumida no mundo, sendo uma das mais importantes economicamente (Hartman et al., 2011). O Estados Unidos se destaca como um dos grandes produtores mundiais e a China como um dos grandes consumidores/importadores da soja (An e Ouyang, 2016; Bandara et al., 2020).

No Brasil, a área de soja cultivada na safra 2020/2021 foi estimada em 38,5 milhões de hectares, sendo a Região Centro-Oeste a maior produtora, com 17,2 milhões. Somente o estado de Mato Grosso foi responsável por aproximadamente 10,3 milhões de hectares, área ligeiramente superior à registrada na safra anterior (CONAB, 2021). Além disso, juntamente com a China, o Brasil é um dos maiores representantes do mercado da soja (Liu et al., 2015).

Um dos maiores desafios na produção de soja está relacionado a nutrição da cultura, principalmente do fornecimento de nitrogênio (N). O N é um dos nutrientes mais requeridos pela cultura, exigindo cerca de 80 kg de N para produzir uma tonelada de grãos (Hungria et al., 2001; Rengel et al., 2018). A demanda nutricional de N pela soja é atendida predominantemente pela fixação biológica de nitrogênio (FBN) a partir de bactérias do gênero *Bradyrhizobium* (Hungria et al., 2015). Nesse processo, micronutrientes, como o molibdênio (Mo), o cobre (Cu), o manganês (Mn) e o zinco (Zn) (Chang e Knowles, 1965; Orji et al., 2018), são essenciais porque constituem diversos componentes necessários para a sua eficiência (Egamberdieva e Kucharova, 2008).

O Mo está envolvido na nutrição e assimilação do N pelas plantas favorecendo o uso dos nitratos retirados do solo e as bactérias dos nódulos radiculares a fixar o N atmosférico (Campo et al., 2000). O Cu está envolvido na assimilação do carbono e no metabolismo do N e sua deficiência resulta em retardo de crescimento (Farooq et al., 2012). O Mn desempenha um papel vital no metabolismo do N, fotossíntese e forma vários outros compostos necessários para o metabolismo das plantas (Stout e Arnon, 1939). O Zn também é importante para o crescimento das plantas, desde o desenvolvimento inicial, pois favorece a proteção das sementes contra patógenos, aumenta a eficiência no uso de água e melhora o rendimento das culturas (Marschner, 1995; Sharma, 2006; Kaya et al., 2007).

A produtividade das culturas é reflexo do fornecimento adequado de micronutrientes. No entanto, frequentemente são realizadas aplicações de doses mais altas de fertilizantes aos solos devido à baixa eficiência do uso de nutrientes (Singh, 2007). A aplicação de micronutrientes pode ser realizada diretamente ao solo, pulverizados via foliar ou adicionados como tratamento de sementes (Sharma et al., 2015). A opção via tratamento de sementes refere-se à exposição das sementes a determinados agentes físicos, químicos ou biológicos para fornecer proteção e condições que favoreçam a germinação e emergência, crescimento inicial e produtividade da planta (Forsberg et al., 2003).

O tratamento de sementes de soja é uma das formas mais usadas para aplicação de inoculantes das bactérias fixadoras de N (Schulz e Thelen, 2008). Essa forma colabora para aumentar a viabilidade da aplicação de micronutrientes via sementes, como utilizado para o Mo, que geralmente é feita usando solução líquida, contudo, a forma de aplicação líquida, mesmo não sendo nociva às bactérias fixadoras de N, requer altos volumes de calda que variam de 100 a 200 mL ha⁻¹ e que podem ser nocivos às sementes de soja (Lana et al., 2009).

O efeito tóxico da aplicação de micronutrientes em altas doses via tratamento de sementes devem ser estudados porque interferem em processos tais como o crescimento da planta, a biossíntese da clorofila, alterações na atividade de enzimas envolvidas no processo fotossintético, clorose e produção de espécies reativas de oxigênio (ERO) (Wallace et al., 1977; Chaney, 1993; Fernando e Lynch, 2015).

O tratamento das sementes com micronutrientes tem sido feito visando potencializar a FBN, sendo as taxas mínimas de Mo e Co já definidas por pesquisadores e amplamente aplicadas pelos agricultores (Lavres et al., 2016). Contudo, não há recomendações para aplicação de Mo combinada com Cu, Mn e Zn via tratamento de sementes.

O objetivo desse estudo foi determinar a melhor dose para aplicação de Mo combinado com Cu, Mn e Zn no tratamento de sementes de soja que proporcione maior eficiência na nutrição nitrogenada e na produtividade.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Importância do Mo, Cu, Mn e Zn na fixação biológica de nitrogênio

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é o processo no qual o nitrogênio atmosférico (N_2) é convertido em formas que podem ser utilizadas pelas plantas, realizado a partir de uma reação catalisada pela enzima nitrogenase, que é encontrada em bactérias fixadoras (Vance, 2001). Diversas enzimas participam do processo de FBN e necessitam de micronutrientes para o seu ótimo funcionamento (Raymond et al., 2004).

O Mo é componente da enzima nitrogenase que catalisa a redução do N_2 atmosférico a NH_3 , reação pela qual o *Rhizobium* (bactéria fixadora de N) dos nódulos radiculares supre N a planta hospedeira, fazendo com que a amônia convertida sirva de fertilizante (Gonzalez-Guerrero et al. 2014). Com o surgimento do problema de deficiência de Mo no solo, adubação mineral tornou-se necessário em cultivos de soja (Sfredo et al., 1997). A aplicação de Mo pode ser feita de diversas formas: i) aplicação no sulco; ii) aplicação foliar; iii) tratamento de sementes, para garantir sanidade, por exemplo; e iv) enriquecimento nutricional de sementes, para aumentar as concentrações de micronutrientes em função das deficiências nutricionais (Oliveira et al. 2017). O enriquecimento de sementes, apesar de ser o menos utilizado, mantém níveis adequados de nutrientes durante todo o ciclo da cultura. A aplicação do Mo nas sementes no momento da semeadura antecede a aplicação do inoculante (Albino e Campo, 2001).

De acordo com Mengel e Kirkby (1978), o Cu é importante no processo de metabolismo de proteínas respiratórias e carboidratos sendo requerido no processo de FBN. O Cu também desempenha um papel em uma proteína que é expressa coordenadamente com os genes *nif* e pode afetar a eficiência da função bacterioide (Weisany et al., 2013). A soja responde bem a fertilização com Cu, tendo rendimentos na sua produtividade (Moreira e Moraes, 2019).

O Mn é um micronutriente mais abundante no solo, depois do ferro. O Mn desempenha diversas funções nas plantas, tendo papéis vitais na fotossíntese, como um componente da proteína divisora de água do fotossistema II. O Mn também possui funções como a síntese de RNA (ácido ribonucleico), acúmulo de reservas de fósforo (P), proteção de ácido indol acético (AIA), fixação de dióxido de

carbono (CO₂) e FBN, inclusive em condições de seca, visto que a amido hidrolase, responsável pela degradação de ureídeos nas folhas é dependente de Mn⁺⁺ (Valdez et al., 2000; Marschner, 2012). Em solos brasileiros, as concentrações totais de Mn variam de 10 a 4000 mg kg⁻¹ e as concentrações solúveis variam de 0,1 a 100 mg kg⁻¹ (Malavolta 2006). Além disso, o Mn tem baixa mobilidade no floema e sua absorção é realizada preferencialmente por difusão como Mn²⁺ (Pittman 2005; Malavolta 2006; Marschner 2012).

O Zn atua principalmente na síntese de proteínas e no crescimento meristemático por atuar na formação do aminoácido triptofano, precursor do ácido indolilacético, mas é pouco móvel na planta e os muitos fatores podem afetar na sua disponibilidade (Bertol et al., 2010; Sulino e Buso, 2021). Na soja, é um micronutriente que atua no crescimento da planta e na formação de grãos, sendo que a planta precisa absorver cerca de 40 g de Zn a cada 1 tonelada de grãos. A partir disso, 66% vão para o grão, demonstrando um alto valor de extração. O Zn pode ser aplicado na soja via solo, foliar ou via semente (Prado et al., 2008).

A aplicação combinada de Mo, Cu, Mn e Zn podem diminuir os custos operacionais da produção da soja, visto que seriam aplicados de uma só vez. Além disso, pode garantir maior produtividade da cultura, dada a importância destes micronutrientes às plantas.

2.2 Deficiência e toxicidade de Mo, Cu, Mn e Zn em plantas de soja

Os sintomas da deficiência de Mo são frequentemente comparáveis às de N. O Mo é essencial à incorporação de N aos tecidos de leguminosas, por ser integrante de enzima nitrogenase. Logo, as plantas de soja podem apresentar folhas verde-pálido ao amarelo e são retorcidas na carência desse micronutriente. Com a progressão da deficiência, as margens foliares, as nervuras centrais e as áreas internervais tornam-se necróticas (Sfredo e Oliveira, 2010; Farooq et al., 2012).

O Cu é requerido pelas plantas sendo que níveis de deficiência críticos são observados na faixa de 1-5 mg kg⁻¹, porém, altas concentrações podem ser tóxicas para as células (Ducic e Polle, 2005). O principal mecanismo de toxicidade do Cu envolve a reação de Fenton, a qual é caracterizada pela produção de metal catalisada de radicais de hidroxila do superóxido e peróxido de hidrogênio (Briat e

Lebrun, 1999). Na soja, os sintomas de deficiência de Cu são: clorose, morte apical e internódios curtos (Mascarenhas et al., 2013).

O Mn é essencial para as plantas, pois participa da estrutura de proteínas e enzimas de fosforilação, conseqüentemente, sua deficiência causa danos aos cloroplastos e ao fornecimento dos elétrons necessários para a fotossíntese (Fernando e Lynch, 2015). Por outro lado, seu excesso pode ser prejudicial às plantas, dependendo da espécie, variedade ou genótipo do vegetal, devido à toxicidade (Kochian et al., 2004, Ducic e Polle, 2005). Processos como a atividade enzimática, a absorção e a redistribuição e uso de outros nutrientes, tais como Ca, Fe, N e P, nas plantas podem ser afetados por altas concentrações de Mn nos tecidos vegetais. Isso pode gerar respostas negativas na produtividade das culturas agrícolas (Lavres Júnior et al., 2010).

A toxicidade do Mn induz o estresse oxidativo (St. Clair et al., 2005). Em plantas de soja o Mn pode causar hipertrofia da epiderme adaxial e formação de áreas necróticas com nervuras de coloração púrpura nas folhas (Santos et al., 2017). A disponibilidade de Mn para as plantas é altamente dependente do pH do solo, sendo que sua deficiência pode causar clorose em tons amarelo-esverdeados das folhas mais novas entre as nervuras e as nervuras de cor verde-escura (Sfredo e Borkert, 2004)

Os sintomas de deficiência de Zn manifestam-se em folhas mais novas, dada a pouca mobilidade do elemento. Dessa forma, diminui o nível de RNA, prejudicando a síntese de proteínas, e as plantas podem apresentar como sintomas mais característicos o encurtamento dos internódios e a produção de folhas novas pequenas, com sinais de clorose e lanceoladas, e folhas mais velhas com coloração amarelo-castanha. Em casos de toxicidade, as plantas se manifestam com coloração avermelhada nas nervuras e pecíolos (Sfredo e Borkert, 2004; Mascarenhas et al., 2013).

Quando as plantas são cultivadas em condições nutritivas ideais, elas geralmente crescem e têm uma produtividade normal. Logo, doses adequadas garantem que não haja deficiência nutricional e evitam problemas indiretos nas culturas, como a fitotoxicidade.

2.3 Tratamento de sementes de soja

As sementes são vitais e base para a agricultura, visto que a maioria das culturas agrícolas e dos alimentos são cultivadas e produzidos a partir de sementes. A necessidade de manter a qualidade e sanidade das sementes, aumentou a quantidade de práticas agrícolas adotadas, e com isso muitas técnicas foram desenvolvidas (Sharma et al., 2015).

O tratamento de sementes refere-se à exposição das sementes a certos agentes físicos, químicos ou biológicos que não são empregados apenas para tornar as sementes livres de pragas ou doenças, mas tratadas para fornecer a possibilidade de uma germinação e emergência, bem como, crescimento saudável da planta (Forsberg et al., 2003). As sementes podem ser tratadas com micronutrientes por imersão em solução nutritiva de uma concentração por um período específico (priming de sementes) ou por revestimento com micronutrientes, tais como o realizado para aplicação de Mo, Cu, Mn e Zn (Farooq et al., 2012).

A soja, ao contrário de algumas fabáceas, tem a capacidade de derivar a maior parte de suas necessidades de N da fixação simbiótica, sendo a inoculação da semente de soja ou do solo ao redor da semente com *Bradyrhizobium japonicum* é comumente praticada para garantir a FBN (Zilli et al., 2010). O tratamento de sementes de soja com micronutrientes tem sido realizado visando potencializar a FBN (Dourado Neto et al., 2012).

O uso de tratamento de sementes com Mo é usual devido a sua atuação na FBN e assimilação de NO_3^- via enzima nitrato redutase (Taiz e Zeiger, 2010) e no caso do Zn, o seu uso no tratamento de sementes é importante para o crescimento da plântula, na codificação de enzimas necessárias para remobilização das reservas (Marschner, 2012). O tratamento de sementes com Co pode ser necessário em solos deficientes deste nutriente (Marschner, 2012). Montanha et al. (2021) reportaram que alguns micronutrientes podem ser combinados para o tratamento de sementes de soja de modo que forneçam um melhor desempenho para as plantas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material vegetal e condições de crescimento

O experimento foi realizado em casa de vegetação na Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de Jaboticabal, no período de novembro de 2020 a março de 2021, utilizando sementes de soja da cultivar 74I77RSF IPROS2.

3.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram constituídos por cinco doses, sendo 0, 50, 100, 200 e 400 mL ha⁻¹ ou em 65 kg de sementes de soja de uma suspensão concentrada constituída por Mo, Cu, Mn e Zn. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com 4 repetições.

As concentrações dos micronutrientes presentes na suspensão concentrada foram de: Mo: 56 g L⁻¹ na forma de molibdato de sódio; Cu: 117,2 g L⁻¹ na forma de óxido cúprico; Mn: 164,5 g L⁻¹ na forma de carbonato de manganês; e Zn: 262,2 g L⁻¹ na forma de óxido de zinco.

A aplicação do produto foi realizada nas sementes previamente a semeadura, sendo o produto diluído em água destilada para melhorar o recobrimento da superfície das sementes e misturado de forma homogênea. Não foi realizado o equilíbrio dos elementos nas doses testadas porque pretendeu-se verificar se a aplicação combinada dos elementos promove resposta na planta no aumento da FBN e conseqüentemente na produtividade, bem como, determinar a dose tóxica que promove diminuição de 15% no rendimento de grãos (Prado, 2021).

Foi utilizado vasos de 7 dm³ preenchido com 6 dm³ de amostras de um Latossolo Vermelho distrófico típico, A moderado, textura argilosa (Andrioli e Centurion, 1999), coletado do horizonte Ap. Realizou-se a análise química para fins de fertilidade, conforme método descrito por Raij et al. (2001), tendo os seguintes resultados: pH CaCl₂= 5; matéria orgânica=11 g dm⁻³; P res.= 11 mg dm⁻³; S=18 mg dm⁻³; B<0,12 mg dm⁻³; Cu= 0,2 mg dm⁻³; Fe= 9 mg dm⁻³; Mn= 1,7 mg dm⁻³; Ca= 11 mmol_c dm⁻³; Mg= 6 mmol_c dm⁻³; K= 1,9 mmol_c dm⁻³; Al= 0 mmol_c dm⁻³; H+Al= 20 mmol_c dm⁻³; SB (soma de bases)= 18,5 mmol_c dm⁻³; CTC (capacidade de troca catiônica)= 38,1 mmol_c dm⁻³; V (saturação por bases - V=SBx100/CTC) =49%.

Determinou-se o teor de Si ($3,0 \text{ mg dm}^{-3}$), utilizando o método descrito por Korndörfer et al. (2004). A granulometria do solo foi de 540 g kg^{-1} de areia, 380 g kg^{-1} de argila e 90 g kg^{-1} de silte (Camargo et al., 1986).

Foi realizado aplicação de calcário (PRNT: 125; CaO: 48%; MgO: 16%) 60 dias antes da semeadura, objetivando elevar a saturação por bases (V) a 60%. O calcário foi incorporado ao volume total de solo e os vasos foram mantidos em 70% da capacidade de retenção de água no solo. Juntamente com aplicação do calcário foi realizado a incorporação de 200 mg dm^{-3} de P na forma de superfosfato simples.

A semeadura foi realizada diretamente nos vasos utilizando-se cinco sementes por vasos. Após o quinto dia, as plantas atingiram a fase de emergência plena, sendo realizado o desbaste e mantendo duas plantas por vaso. Na semeadura foi realizado a fertilização com K, B e Zn nas doses 150 , 2 e 4 mg dm^{-3} , utilizando cloreto de potássio, ácido bórico e sulfato de zinco, respectivamente. A aplicação desses fertilizantes foi realizada através de fertirrigação com lâmina de 5 mm.

Foi realizado aplicação de inoculante contendo estirpes de *Bradyrhizobium elkanii* (Biomax® premium) na dose de 720 mL por 200 L via sulco de semeadura. As plantas foram irrigadas diariamente mantendo o nível de saturação de água no solo em 70% da capacidade de retenção.

Na fase de florescimento pleno foram realizadas análises fisiológicas, nutricionais e a produção de massa seca, utilizando uma das plantas. A segunda planta foi mantida no vaso sendo cultivada até a maturação fisiológica para determinação dos componentes de produtividade.

3.3 Variáveis analisadas

3.3.1 Conteúdo de clorofilas e carotenoides

Para a análise dos pigmentos, foram coletadas amostras de massa fresca do terço médio do limbo foliar da primeira folha completamente desenvolvida. As amostras foram pesadas e submersas em acetona à 80% contida em frascos previamente cobertos com papel alumínio, permanecendo nessa solução até a completa descoloração. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro

(Beckman DU 640) a 663 nm para clorofila a (Chl *a*), 647 nm para clorofila b (Chl *b*) e 470 nm para carotenoides. Os valores obtidos foram utilizados para o cálculo de concentração dos pigmentos, seguindo as equações proposta por Lichtenthaler (1987).

3.3.2 *Eficiência quântica do fotossistema II (PSII) (Fv/Fm)*

As medições do rendimento quântico do PSII, representada pelos valores de Fv/Fm, foram realizadas entre 7 e 8 horas da manhã, sendo as folhas submetidas a um período de adaptação ao escuro usando pinças do aparelho com intensidade de saturação de 3500 μmol por um período de 30 minutos.

A fluorescência máxima e variável foi avaliada por excitação desencadeada por uma luz vermelha pulsante (intensidade de saturação de 3500 μmol). A eficiência quântica do PSII foi determinada pelo cálculo da razão entre fluorescência máxima e variável, conforme proposto por Lichtenthaler et al. (2005). As medidas foram realizadas na primeira folha completamente desenvolvida utilizando um fluorômetro portátil (Opti-sciences – Os30P).

3.3.3 *Índice de coloração verde*

A estimativa do índice de coloração verde foi determinada usando o medidor de clorofila Opti-sciences® CCM – 200, considerando uma média de três leituras na porção mediana da primeira folha completamente desenvolvida.

3.3.4 *Índice de extravasamento de eletrólitos*

Na quantificação dos danos causados à integridade das membranas celulares, foi utilizado o método da determinação do índice de extravasamento de eletrólitos, proposto por Dionisio-Sese e Tobita (1998). Foram coletados dez discos foliares da primeira folha completamente desenvolvida e emergidos em água deionizada por 2 horas, sendo a condutividade elétrica (EC_1) da solução lida usando um medidor de condutividade (TDS-3). As amostras foram autoclavadas a 121°C por 20 min e após o resfriamento a condutividade elétrica final (EC_2) foi obtida. O extravasamento de eletrólitos foi determinado considerando a fórmula: $EC_1/EC_2 \times 100$.

3.3.5 *Compostos fenólicos*

A extração dos compostos fenólicos totais foi realizada utilizando amostras de folhas frescas, que foram imersas em metanol concentrado e mantida no escuro por 3 horas. O teor de fenóis totais foi determinado por reação colorimétrica induzida por folin-ciocalteau 2 N e carbonato de sódio 20%, com leitura em espectrofotômetro a 765 nm (Singleton e Rossi, 1965).

3.3.6 *Massa seca da parte aérea*

A parte aérea das plantas foi coletada, lavada em água corrente e depois submerso em uma solução de detergente neutro (0,1% v/v) e solução de ácido clorídrico (0,3% v/v) e novamente em água deionizada. O material vegetal foi seco em estufa de circulação forçada de ar ($65 \pm 5^\circ\text{C}$) até atingir massa constante e foram pesados.

3.3.7 *Acúmulo de N na parte aérea*

O teor de N na parte aérea foi determinado a partir de digestão de amostras de material vegetal conforme o método descrito por Bataglia et al. (1983). Com base no teor e na matéria seca foram determinados o acúmulo.

3.3.8 *Componentes de produtividade*

Os componentes de produtividade foram determinados na fase de maturação fisiológica, determinando-se o número de vagens por planta, massa de 1000 grãos e rendimentos de grãos.

3.3.9 *Análise estatística*

Os dados foram submetidos a uma análise de variância unidirecional (ANOVA) pelo teste F ($p \leq 0,05$) após verificação da normalidade (teste W de Shapiro-Wilks) e homogeneidade das variâncias (Teste de Bartlett).

As doses testadas foram analisadas por meio de modelos matemáticos de regressão polinomial e exponencial com três parâmetros (modificado por Gaussian):

$$\hat{y} = a e^{\left[\frac{(X-X_0)}{b}\right]^2}$$

em que: \hat{y} = parâmetro analisado; a = valor de máximo de \hat{y} ; X_0 = valor de X que proporciona o máximo em \hat{y} ; e b = amplitude no valor de X .

Os gráficos foram elaborados usando o software SigmaPlot®.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação combinada de Mo com Cu, Mn e Zn na dose de 145,2 mL ha⁻¹ no tratamento de sementes de soja proporcionou efeito no acúmulo de N na parte aérea. O maior acúmulo de N observado foi de 62,2 mg por planta (Figura 1).

O Mo tem participação na redutase de nitrato e é responsável pela redução de NO₃⁻ para assimilação de N pela planta (Lavres et al., 2016; Yang et al., 2020). O Co influencia na absorção de N por via simbiótica, pois faz parte da estrutura das vitaminas B12, que são necessárias na síntese de leghemoglobina e que determinam a atividade dos nódulos (Somasegaran e Hoben, 1994; Mengel e Kirby, 2001). Já o Zn pode desempenhar um papel na translocação de N para a matéria vegetal acima do solo (Cakmak e Marschner, 1990). O que pode se atribuir aumento do acúmulo de N na parte aérea pelo efeito desses micronutrientes no metabolismo do N.

Da mesma forma como observado, Leite et al. (2009), utilizando diferentes doses de Mo, também observaram aumento do acúmulo de N na soja. Isso evidencia que a aplicação de Mo combinada com Cu, Mn e Zi em dose adequada via tratamento de semente aumenta o acúmulo de N na parte aérea de soja e pode ser uma forma eficiente de aplicação desses micronutrientes para incrementar os ganhos associados a FBN em plantas de soja.

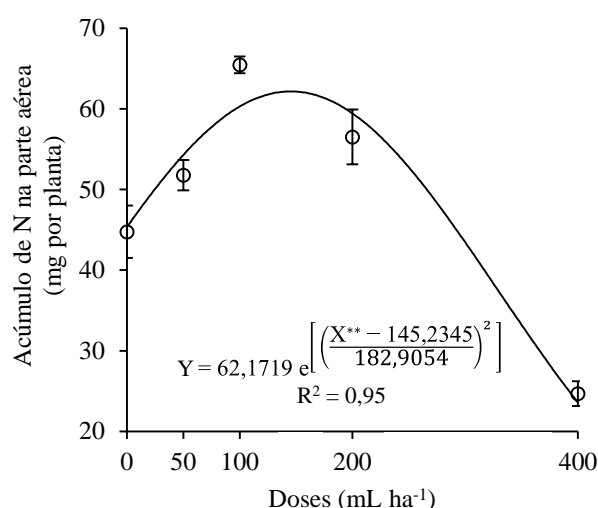


Figura 1. Acúmulo de nitrogênio (N) na parte aérea de plantas de soja cultivadas sob doses de molibdênio combinado com cobre, manganês e zinco: 0, 50, 100, 200 e 400 mL ha⁻¹ aplicado via semente. Barras representam o erro padrão da média, $n=4$.

O Mo contribui decisivamente na fixação biológica de N_2 , sendo recomendado de 12 a 25 g ha^{-1} de Mo via semente (Sfredo e Oliveira, 2010). Dessa forma, a aplicação de Mo combinada com esses micronutrientes melhoram a eficiência de uso e diminui a dose a ser utilizada. Como as quantidades de Mo requeridas pelas plantas são pequenas, a sua aplicação via semente, através da peletização, constitui-se na forma mais prática e eficaz de adubação e contribui para a produtividade da soja (Reisenauer, 1963; Gupta e Lipsett, 1981; Sfredo e Oliveira, 2010; Dourado Neto et al., 2012).

A dose de 400 mL ha^{-1} causou efeito tóxico às plantas, diminuindo em 60,3% o valor de N acumulado, em comparação ao obtido em plantas cultivadas na dose de 0 mL ha^{-1} (Figura 1). Resultados que estão de acordo com Barbosa et al. (2016), que salientam que os efeitos da aplicação de micronutrientes variam com o elemento aplicado, a dose e/ou a combinação de elementos. Assim fica evidenciado que altos níveis de Cu, Zn, diminuem a concentração de N em soja (Vesper e Weindesaul 1977).

Altos níveis de Zn podem causar toxicidade na soja, sendo dois níveis de toxicidade demonstrados (0,8 e 40 μM) (Fontes e Cox, 1998). Ainda, outros autores encontraram doses críticas de cada elemento isolado acima desta utilizada neste estudo com os elementos combinados. Ohki (1976) obteve dose crítica de Mn para concentrações acima de 200 mg kg^{-1} via solução; Mascagni e Cox (1985) encontraram concentrações críticas entre 16 e 22 mg kg^{-1} e Adams et al. (2000) detectaram uma concentração foliar crítica de 1,5 mg kg^{-1} para Cu, todas associadas à fitotoxicidade.

O índice de extravasamento de eletrólitos é um parâmetro fisiológico que estima a integridade das membranas celulares (Bajji et al., 2002). Foi observado que doses baixas proporcionaram diminuição neste parâmetro, sendo o menor valor de 12,5% na dose 165,5 mL ha^{-1} , o que pode indicar maior integridade das membranas celulares.

No entanto, a maior dose utilizada (400 mL ha^{-1}) causou aumento de 41,6%, em relação a dose de 0 mL ha^{-1} (Figura 2a), sendo notório que a utilização de altas doses causa estresse nutricional nas plantas, o que pode aumentar a degradação dos componentes celulares e ocasionar necrose (Campanharo et al., 2010; Singh et al., 2010).

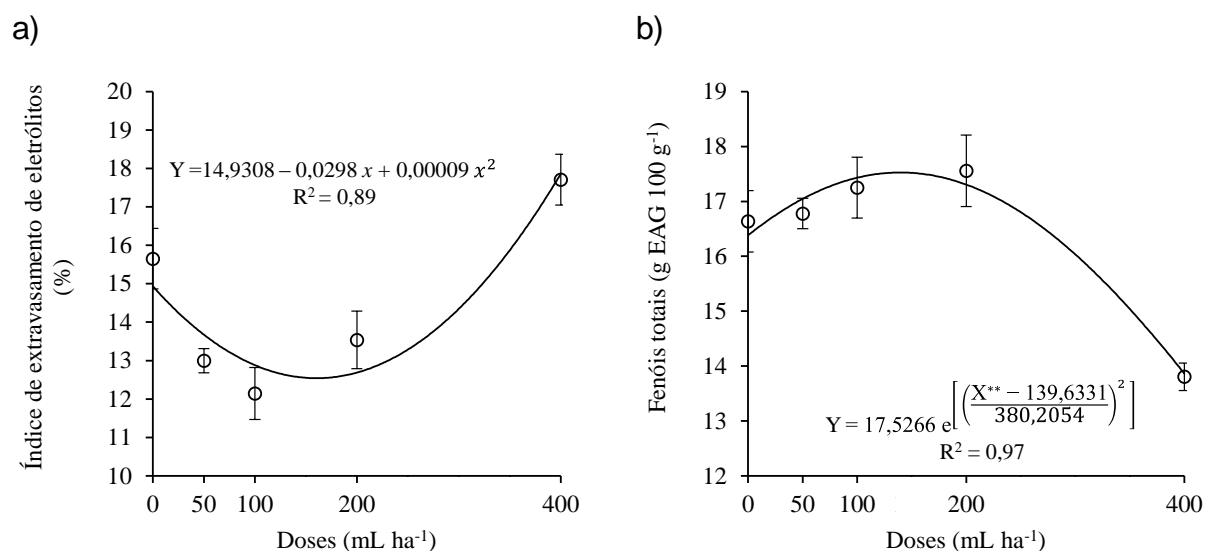


Figura 2. Índice de extravasamento de eletrólitos (a) e fenóis totais (b) em plantas de soja cultivadas sob doses de molibdênio combinado com cobre, manganês e zinco: 0, 50, 100, 200 e 400 mL ha⁻¹ aplicado via semente. Barras representam o erro padrão da média, $n=4$.

Os compostos fenólicos totais aumentaram até a dose 139,6 mL ha⁻¹ com valor de 17,5 g EAG 100 g⁻¹, enquanto a dose de 400 mL ha⁻¹ diminuiu em 21,1% o conteúdo de fenóis totais, em comparação a dose de 0 mL ha⁻¹ (Figura 2b). A fertilização é importante para aumento dos fenóis totais nas plantas (Kokopka et al., 2012), sendo assim, a falta de nutrientes pode causar diminuição nos compostos fenólicos em soja, os quais são importantes na regulação do crescimento e metabolismo da planta (Makoi; Ndakidemi, 2007).

A aplicação de Mo via semente auxilia na FBN e na nodulação (Dourado Neto et al., 2012), o que pode ocasionar um efeito combinado no aumento dos fenóis, que resultam em maior conteúdo de N e da atividade da enzima nitrato redutase (Abd-Alla, 1992), devido esses compostos serem eficientes eliminadores de radicais livres (Kumaret al., 2010).

O enriquecimento das sementes de soja com Mo, Cu, Mn e Zn aplicados em conjunto provocou alterações nos atributos fotossintéticos das plantas. O índice de cor verde aumentou até o valor de 20 na dose de 155,6 mL ha⁻¹ (Figura 3)., segundo Ahmad et al. (2020), o Zn auxilia na produção de clorofila e fotossíntese, além de auxiliar na diminuição da fitotoxicidade causada por outros elementos. O Cu é necessário para a síntese adequada de pigmentos (clorofilas e carotenoides) e plastoquinona (Peng et al. 2013; Rehman et al. 2019), mas a sua toxicidade pode causar diminuição destes pigmentos (Peng et al., 2013).

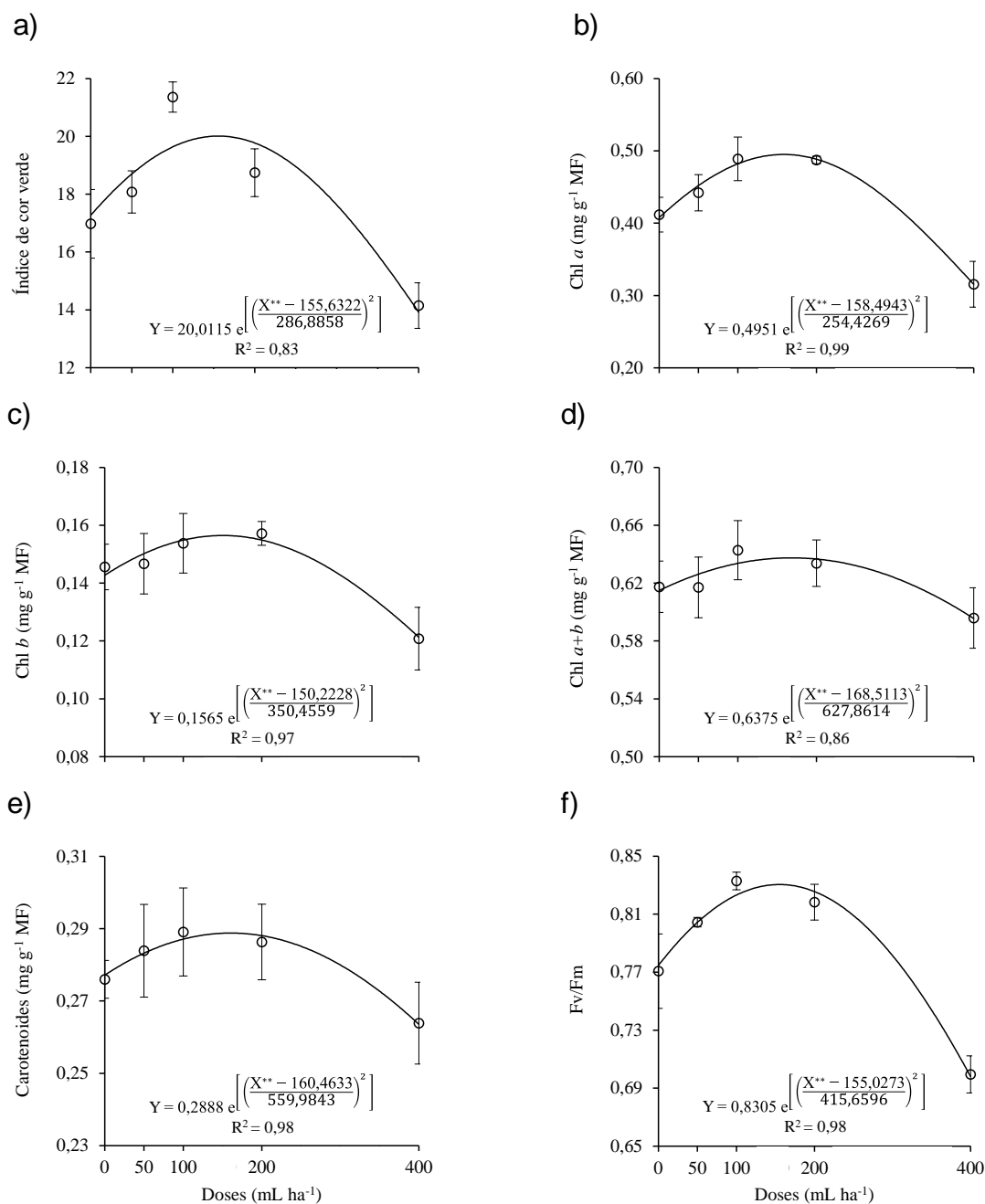


Figura 3. Índice de cor verde (a), clorofila a (Chl a) (b), clorofila b (Chl b) (c), clorofila a+b (Chl a+b) (d), carotenoides (e) e eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) (f) de plantas de soja cultivadas sob doses de molibdênio combinado com cobre, manganês e zinco: 0, 50, 100, 200 e 400 mL ha⁻¹ aplicado via semente. Barras representam o erro padrão da média, n=4. MF = massa fresca.

Contudo, a dose de 400 mL ha⁻¹ induziu efeito tóxico nas plantas, diminuindo o índice de cor verde em 29,5%, em comparação a dose de 0 mL ha⁻¹ (Figura 3a). O excesso de Cu em plantas pode causar um efeito antagônico ao conteúdo de outros elementos, causando um efeito negativo nos pigmentos fotossintéticos (Adrees et al, 2015). O Mn quando causa fitotoxicidade nas plantas, leva as mesmas ao

enrugamento e a clorose foliares (Fernandi e Lynch, 2015). A diminuição nos pigmentos verdes fotossintéticos pode estar associada a fatores como o dano oxidativo das membranas do cloroplasto, a inibição da biossíntese de clorofila ou a substituição de íons Mg em anéis de tetrapirrol da planta em resposta a metais pesados (Nagajyothi et al., 2009).

Os teores foliares de clorofila *a*, *b* e *a+b* nas plantas de soja também foram modificados pelo tratamento das sementes. O maior teor de clorofila *a* foi de 0,49 mg g⁻¹ na dose 158,5 mL ha⁻¹ (Figura 3b), o de clorofila *b* foi de 0,16 mg g⁻¹ na dose 150,2 mL ha⁻¹ (Fig. 7c), e o de clorofila *a+b* foi de 0,64 mg g⁻¹ na dose 168,5 mL ha⁻¹ (Fig. 7d). Resultados obtidos por Heitholt et al. (2002) mostram que a adição de Cu (25 a 100 mg kg⁻¹), Mn (10 a 40 mg kg⁻¹) e Zn (2 a 8 mg kg⁻¹) no solo promovem aumento no conteúdo de clorofilas e na concentração foliar de N. A clorofila é um componente chave da fotossíntese, permitindo o consumo de energia solar na soja (Gai et al., 2017). Baixas concentrações de pigmentos fotossintéticos podem limitar diretamente o potencial fotossintético (Karami et al., 2016).

No entanto, a dose de 400 mL ha⁻¹ também causou efeito tóxico, diminuindo em 36,8, 25 e 7,8% os teores de clorofila *a*, *b* e *a+b*, respectivamente, em relação a dose de 0 mL ha⁻¹ (Figura 3b-d). De acordo com Fageria (2001), o Zn e o Mn interferem na utilização de ferro para a síntese de clorofila. Marschner (1995) salienta que a diminuição no teor de clorofila pode ocorrer pelo incremento nos danos oxidativos atribuídos à redução na atividade da Cu/ZnSOD sob deficiência de Zn. Os sintomas de toxidez ocasionados pelo excesso de Cu e Zn são apresentados no organismo vegetal devido a uma série de interações que ocorrem em nível molecular e celular. Um sintoma bastante comum é a clorose, observada quando ocorre diminuição do conteúdo de clorofilas nas folhas jovens (Yang et al., 2011).

Os teores de carotenoides aumentaram até a dose de 160,5 mL ha⁻¹ sendo de 0,29 mg g⁻¹ (Figura 3e). O Mo desempenha um papel importante no processo fotossintético e está positivamente correlacionada com a síntese de clorofila, eficácia fotossintética e, conseqüentemente, crescimento vegetativo e rendimento de grãos (Liu et al., 2018). A dose de 400 mL ha⁻¹ causou diminuição no teor de carotenoides em 10,3%, em relação a dose de 0 mL ha⁻¹ (Figura 3e). Alguns estudos apontam que metais pesados diminuem o teor de carotenoides em plantas, incluindo leguminosas (Panda e Khan, 2008; Aldoobie e Beltagi, 2012; De Souza et al., 2012).

A eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) aumentou até atingir valor de 0,83 proporcionado pelo uso da dose de 155 mL ha⁻¹ (Figura 3f). Porém, a aplicação da dose de 400 mL ha⁻¹ diminuiu a Fv/Fm em 16,9%, em comparação a dose de 0 mL ha⁻¹ (Figura 3f). Sob condições de estresse, as plantas podem apresentar menor eficiência quântica máxima do PSII (Fv/Fm). Esse decréscimo já foi observado por outros autores (Cambrollé et al., 2013a; Santana et al., 2015; Tiecherl et al., 2016a; 2016b), e se caracteriza como um estado de fotoinibição crônica (Alves et al., 2002), a qual se atribui uma diminuição na proporção de centros de reação abertos (Maxwell e Johnson, 2000), ou seja, aptos a receber elétrons.

De maneira semelhante ao observado nos parâmetros fisiológicos, a massa seca da parte aérea das plantas também foi influenciado pelo tratamento das sementes de soja com a aplicação combinada de Mo, Cu, Mn e Zn. A massa seca da parte aérea aumentou até 3 g na dose de 144,7 mL há⁻¹ (Figura 4a). Contudo a dose de 400 mL ha⁻¹ diminuiu em 44,7% a produção de massa seca, em comparação ao de plantas da dose 0 mL ha⁻¹ (Figura 4a). Marcondes e Caires (2005), observaram que a massa seca da parte aérea não aumentou quando o Mo foi aplicado isoladamente via semente, enquanto Haach e Primieir (2012) concluíram que combinando Zn e Mo na dose de 3 mL kg⁻¹, resultam em aumento na produtividade da soja.

Os componentes de rendimento da soja também refletiram os tratamentos avaliados. O maior número de vagens por planta foi de 78,9 na dose de 146,8 mL ha⁻¹ (Figura 4b). Já o peso máximo de 1000 grãos foi de 122,5 g, proporcionado pela aplicação da dose de 172,9 mL ha⁻¹ (Figura 4c). A produtividade aumentou até atingir 2637,14 kg ha⁻¹ na dose de 120 mL ha⁻¹ (Figura 4d). O aumento na produtividade pode ser atribuído a presença do Zn, pois este micronutriente possui grande importância no metabolismo das plantas. Ele está envolvido em vários processos enzimáticos, e atua como ativador de várias enzimas que agem nos processos de fotossíntese, produção de amido e fito-hormônios, além de promover a síntese de proteínas e crescimento meristemático, estando ligado diretamente na produção do aminoácido triptofano que é precursor do ácido indolilacético, que promove o alongamento celular diferencial (Pes e Arenhardt, 2015).

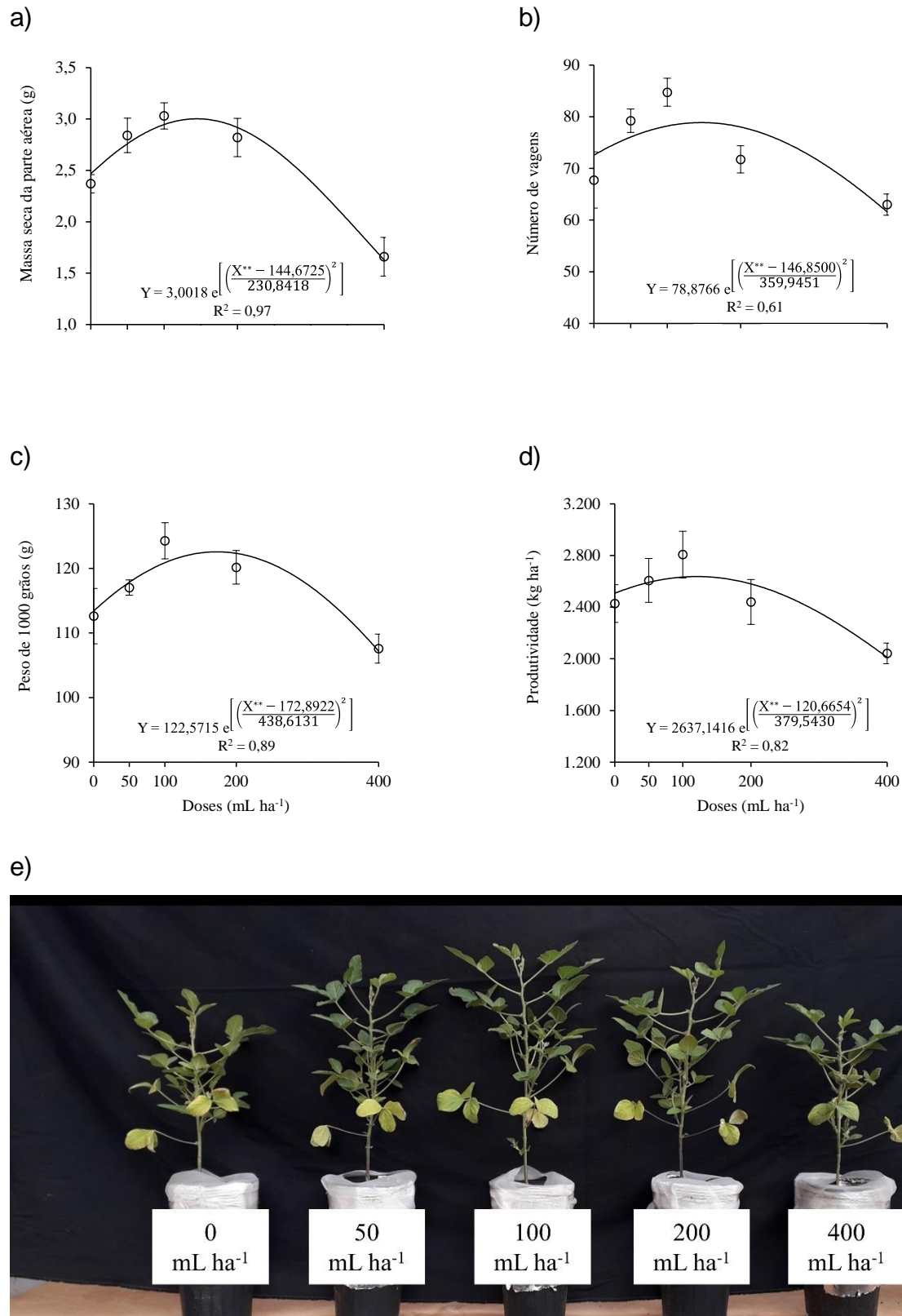


Figura 4. Massa seca da parte aérea (a), número de vagens (b), peso de 1000 grãos (c), produtividade (d) e imagens de plantas de soja (e) cultivadas sob doses de molibdênio combinado com cobre, manganês e zinco: 0, 50, 100, 200 e 400 mL ha⁻¹ aplicado via semente. Barras representam o erro padrão da média, $n=4$.

A maior dose utilizada (400 mL ha^{-1}) diminuiu em 21% o número de vagens por planta (Figura 4b), em 12,2% o peso de 1000 grãos (Figura 4c) e em 22,6% a produtividade (Figura 4d). Ambrosini et al. (2016) ressalta que o excesso de Cu e Zn, e os sintomas da toxidez podem evoluir para uma redução drástica de crescimento, de perda de produtividade, levando até mesmo à morte da planta. Em relação ao crescimento das plantas foi observado uma melhoria nas doses menores e efeito tóxico na dose de 400 mL ha^{-1} (Figura 4c).

A presente informação da aplicação combinada de Mo com Cu, Mn e Zn é de importância técnica pois a relação entre os nutrientes foi constante e o produtor tem interesse dos efeitos destes elementos somados em produtos previamente formulados para tratamento de sementes de soja (Mo: 56 g L^{-1} ; Cu: $117,2 \text{ g L}^{-1}$, Mn: $164,5 \text{ g L}^{-1}$ e Zn: $262,2 \text{ g L}^{-1}$). No entanto, indicamos para pesquisas futuras que seja realizado trabalhos isolando cada elemento para ter efeito individual de cada elemento para que possa realizar ajuste na relação entre esses nutrientes podendo surgir novo produto.

Alguns estudos apresentam a importância dos aspectos nutricionais do fornecimento de enxofre (S), ferro (Fe), Co e molibdênio Mo para a fixação biológica de N (Hungria et al., 2006; Campo et al., 2009), entretanto, poucos reportaram o efeito da aplicação de Mo combinada com Cu, Mn e Zn via semente em soja. Neste estudo, pode-se comprovar que a aplicação de Mo combinada com Cu, Mn e Zn via semente em soja pode favorecer a produtividade da soja. Mas ocorre efeito tóxico em doses superiores a $337,5 \text{ mL ha}^{-1}$ (32 g ha^{-1} de Mo), diminuindo o crescimento das plantas e da produtividade da cultura. Este estudo mostrou que a combinação destes elementos deve ser avaliada cuidadosamente, no tocante a dose utilizada.

5. CONCLUSÕES

O uso da dose de 100 mL ha^{-1} de um produto à base de Cu, Zn, Mn e Mo no tratamento de sementes aumenta a produtividade de soja;

Uma dose de $337,5 \text{ mL ha}^{-1}$ da combinação destes nutrientes é crítica em plantas de soja causando fitotoxicidade, a qual afeta parâmetros fotossintéticos e a produtividade da cultura.

6. REFERÊNCIAS

ABD-ALLA, M.H. Some phenolic compounds enhance nodulation and nitrogen fixation in a soybean *Bradyrhizobium japonicum* system. **Phyton**, v. 33, p. 249-256, 1992.

ADAMS, M. L.; NORVEL, A. W.; PHILPOT, W. D.; PEVERLY, J. H. Toward the discrimination of manganese, zinc, copper, and iron deficiency in 'Bragg' soybean using spectral detection methods. **Agronomy Journal**, v. 92, n. 2, p. 268-274, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj2000.922268x> Acesso em: 10 nov. de 2021.

ADREES, M.; ALI, S.; RIZWAN, M.; IBRAHIM, M.; ABBAS, F.; FARID, M.; ZIA-UR-REHMAN, M.; IRSHAD, M. K.; BHARWANA, S. A. The effect of excess copper on growth and physiology of important food crops: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 11, p. 8148-8162, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4496-5> Acesso em: 10 nov. de 2021.

AHMAD, P.; MOHAMMED, N. A.; ASMA, A. A.; MONEERAH, A. A.; LEONARD, W.; MUHAMMAD, A.; CENGIZ, K.; ANDRZEJ, B. Zinc oxide nanoparticles application alleviates arsenic (As) toxicity in soybean plants by restricting the uptake of as and modulating key biochemical attributes, antioxidant enzymes, ascorbate-glutathione cycle and glyoxalase system. **Plants**, v. 9, n. 7, p. 825, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants9070825> Acesso em: 10 nov. de 2021.

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, 2001 Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000300018> Acesso em: 14 mar. de 2022

ALDOOBIE, N. F., BELTAGI, M. S. Physiological, biochemical and molecular responses of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants to heavy metals stress. **African Journal of Biotechnology**, v. 12, n. 29, 2013. Disponível em: <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/133866> Acesso em: 17 de outubro 2021.

ALVES, P. L. da C. A.; MAGALHÃES, A. C. N.; BARJA, P. R. The phenomenon of photoinhibition of photosynthesis and its importance in reforestation. **The Botanical Review**, v. 68, n. 2, p. 193-208, Apr. 2002.

AN, K., OUYANG Y. Robust grain supply chain design considering post-harvest loss and harvest timing equilibrium **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 88, p. 110-128, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2016.01.009> Acesso em: 11 nov. 2021.

BANDARA, A. Y., WEERASOORIYA, D. K., BRADLEY, C. A., ALLEN, T. W., ESKER, P. D. Dissecting the economic impact of soybean diseases in the United

States over two decades. **PLoS One**, v. 15, n. 4, e0231141. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231141> Acesso em: 10 nov. 2021.

BARBOSA, J. M.; REZENDE, C. F. A.; LEANDRO, W. M.; RATKE, R. F.; FLORES, R. A.; SILVA, A. R. Effects of micronutrients application on soybean yield. *Australian Journal of Crop Science*, v. 10, n. 8, p. 1092-1097, 2016. Disponível em: <https://search.informit.org/doi/abs/10.3316/informit.501840259122697> Acesso em: 16 de mar. 2022.

BATAGLIA, O. C., FURLANI, A. M. C., TEIXEIRA, J. P. F., FURLANI, P. R., GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas** (No. 78). Campinas, 1983.

BERTOL, O. J.; FEY, E.; FAVARETTO, N.; LAVORANTI, O. J.; RIZZI, N. E. Mobilidade de P, Cu e Zn em colunas de solo sob sistema de semeadura direta submetido às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 6, p. 1841-1850, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/vD9tmY7dffrLmvLHvPZswkp/?format=pdfelang=pt> Acesso em: 16 de mar. 2022.

BRIAT, Jean-François; LEBRUN, Michel. Plant responses to metal toxicity. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series III-Sciences de la Vie**, v. 322, n. 1, p. 43-54, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0764-4469\(99\)80016-X](https://doi.org/10.1016/S0764-4469(99)80016-X) Acesso em: 16 de mar. 2022.

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.

CAMBROLLÉ, J.; MANCILLA-LEYTÓN, J. M.; MUÑOZ-VALLES, S.; FIGUEROALUQUE, E.; LUQUE, T.; FIGUEROA, M. E. Evaluation of zinc tolerance and accumulation potential of the coastal shrub *Limoniastrum monopetalum* (L.) Boiss. **Environmental and Experimental Botany**, v. 85, p. 50-57, Jan. 2013a.

CAMPO, R.J., ALBINO, U.B., HUNGRIA, M. Importance of molybdenum and cobalt to the biological nitrogen fixation. In: PEDROSA, F.O., HUNGRIA, M., YATES, G., NEWTON, W. E. (eds.). **Nitrogen Fixation: From molecules to crop productivity**, pp. 597-598, Springer, Netherlands. 2000. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/0-306-47615-0_338 Acesso em: 15 nov. 2021.

CHANEY, R. Á. Zinc phytotoxicity. In: ROBSON, A. D. (Ed.) **Zinc in soils and plants**. p. 135-150. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1993.

CHANG, P. C., KNOWLES, R. Non-symbiotic nitrogen fixation in some Quebec soils. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 11, n. 1, p. 29-38, 1965. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1139/m65-005> Acesso em: 11 nov. 2021.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: grãos, safra 2020/21, v. 8, n. 6, sexto levantamento, mar. 2021. Disponível em: https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/36194_8144bfc95d544b42d23ab308b7016813. Acesso em: 01 nov. de 2021

DE SOUZA, S. C. R., ANDRADE, S. A. L., SOUZA, L. A., SCHIAVINATO, M. A. Lead tolerance and phytoremediation potential of Brazilian leguminous tree species at the seedling stage. **Journal of Environmental Management**, v. 110, p. 299-307, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.06.015> Acesso em: 11 nov. 2021.

DEMETERIO, J. L.; ELLIS JR, R.; PAULSEN, G. M. Nodulation and Nitrogen Fixation by Two Soybean Varieties as affected by Phosphorus and Zinc Nutrition. **Agronomy Journal**, v. 64, n. 5, p. 566-568, 1972. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj1972.00021962006400050003x> Acesso em: 15 nov. 2021.

DIONISIO-SESE, M. L., TOBITA, S. Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress. **Plant Science**, v. 135, p. 1–9, 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(98\)00025-9](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(98)00025-9) Acesso em 10 out. 2021.

DOURADO NETO, D. et al. Adubação mineral com cobalto e molibdênio na cultura da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 2741-2751, 2012. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744117023.pdf> Acesso em 10 nov. de 2021.

DOURADO NETO, D., DARIO, G.J.A., MARTIN, T.N., SILVA, M.R., PAVINATO, P.S., HABITZREITER, T.L. Adubação mineral com cobalto e molibdênio na cultura da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, p. 2741-2751, 2012.

DOURADO NETO, D.; DARIO, G. J. A.; MARTIN, T. N.; SILVA, M. R.; PAVINATO, P. S.; HABITZREITER, T. L. Adubação mineral com cobalto e molibdênio na cultura da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 2741-2751, 2012. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744117023.pdf> Acesso em: 16 de mar. 2022.

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=pdfelang=en> Acesso em: 16 de mar. 2022.

EGAMBERDIEVA, D., KUCHAROVA, Z. Cropping effects on microbial population and nitrogenase activity in saline arid soil. **Turkish Journal of Biology**, v. 32, n. 2, p. 85-90, 2008. Disponível em: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tbtbiology/issue/11717/139920> Acesso em: 11 nov. 2021.

FAGERIA, N. K., BALIGAR, V. C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advanced Agronomy**, v. 88, p. 97–185, 2005. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)88004-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)88004-6) Acesso em: 11 nov. 2021.

FAROOQ, M., WAHID, A., SIDDIQUE, K. H. M. Micronutrient application through seed treatments: a review. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 12, n. 1, p. 125-142, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162012000100011> Acesso em: 11 nov. 2021.

FAROOQ, M.; WAHID, A.; SIDDIQUE, K. H. M. Micronutrient application through seed treatments: a review. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 12, n. 1, p. 125-142, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162012000100011> Acesso em: 16 de mar. 2022.

FERNANDO, D. R., LYNCH, J. P. Manganese phytotoxicity: new light on an old problem. **Annals of Botany**, v. 116, n. 3, p. 313-319, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/aob/mcv111> Acesso em: 11 nov. 2021.

FERNANDO, D. R.; LYNCH, J. P. Manganese phytotoxicity: new light on an old problem. **Annals of botany**, v. 116, n. 3, p. 313-319, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/aob/mcv111> Acesso em: 16 de mar. 2022.

FERNANDO, D. R.; LYNCH, J. P. Manganese phytotoxicity: new light on an old problem, **Annals of Botany**, v. 116, n. 3, p. 313–319, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/aob/mcv111> Acesso em: 12 nov. 2021.

FONTES, R. L. F.; COX, F. R. Zinc toxicity in soybean grown at high iron concentration in nutrient solution. **Journal of Plant Nutrition**, v. 21, n. 8, p. 1723-1730, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01904169809365516> Acesso em: 12 nov. 2021.

FORSBERG, G., ANDERSSON, S. AND JOHNSON, 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> Acesso em: 16 de mar. 2022.

FORSBERG, G., KRISTENSEN, L., EIBEL, P., TITONE, P., HAITI, W. Sensitivity of cereal seeds to short duration treatment with hot, humid air. **Journal of Plant Disease and Protection**, v. 110, n. 1, p. 1-16, 2003. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/43226866> Acesso em: 12 nov. 2021.

GAI, Z.; ZHANG, J.; LI, C. Effects of starter nitrogen fertilizer on soybean root activity, leaf photosynthesis and grain yield. **PLoS one**, v. 12, n. 4, p. e0174841, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174841> Acesso em: 12 nov. 2021.

GONZALEZ-GUERRERO, M.; MATTHIADIS, A.; SAEZ, A.; LONG, T. A. Fixating on metals, new insights into the role of metals in nodulation and symbiotic nitrogen fixation. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, p. 45, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00045> Acesso em: 14 de mar 2022.

GUPTA, U. C.; LIPSETT, J. Molybdenum in soils, plants, and animals. **Advanced Agronomy**, v.34, p.73-115, 1981. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60885-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60885-8) Acesso em: 13 nov. de 2021.

HAACH, R.; PRIMIERI, C. Aplicação de zinco e molibdênio em tratamento de sementes e via foliar na cultura da soja. **Revista Cultivando o Saber**, v. 5, n. 1, p. 21-29, 2012. Disponível em: <https://cultivandosaber.fag.edu.br/index.php/cultivando/article/view/388> Acesso em: 13 nov. de 2021.

HARTMAN, G. L.; WEST, E. D.; HERMAN, T. K. Crops that feed the World 2. Soybean - worldwide production, use, and constraints caused by pathogens and pests. **Food Security**, v. 3, n. 1, p. 5-17, 2011. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12571-010-0108-x> Acesso em: 13 nov. de 2021.

HEITHOLT, J. J.; SLOAN, J. J.; MACKOWN, C. T. Copper, manganese, and zinc fertilization effects on growth of soybean on a calcareous soil. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, n. 8, p. 1727-1740, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1081/PLN-120006054> Acesso em: 13 nov. de 2021.

HUNGRIA, M., FRANCHINI, J., CAMPO, R., CRISPINO, C., MORAES, J., SIBALDELLI, R., et al. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N₂ fixation and N fertilizer to grain yield. **Canadian Journal of Plant Science**. v. 86, p. 927–939, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.4141/P05-098> Acesso em: 14 nov. 2021.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja. Circular Técnica, 35; Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 13. 48 p, 2001. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPISO/18515/1/circTec35.pdf> Acesso em: 12 nov. 2021.

HUNGRIA, M.; MENDES, L. C. Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis? In: BRUJIN, F. J. (ED.) **Biological Nitrogen Fixation**, p. 1009-1024, 2015. John Wiley e Sons, Inc. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781119053095.ch99> Acesso em: 12 nov. 2021.

KARAMI, S.; SANAVY, S. A. M. M.; GHANEHPOOR, S.; KESHAVARZ, H. Effect of foliar zinc application on yield, physiological traits and seed vigor of two soybean cultivars under water deficit. **Notulae Scientia Biologicae**, v. 8, n. 2, p. 181-191, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.15835/nsb829793> Acesso em: 12 nov. 2021.

KAYA, M., ATAK, M., KHAWAR, K.M., CIFTCI, C.Y., OZCAN, S. Effect of pre-sowing seed treatment with zinc and foliar spray of humic acids on yield of common

bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 7, p. 875-878, 2007. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=TR2007000002> Acesso em: 12 nov. 2021.

KOCHIAN, L. V.; HOEKENGA, O. A.; PINEROS, M. A. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. **Annual Review of Plant Biology**., v. 55, p. 459-493, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141655> Acesso em: 16 de mar. 2022.

KONOPKA, I., TAŃSKA, M., FARON, A., STĘPIEŃ, A., WOJTKOWIAK, K. Comparison of the phenolic compounds, carotenoids and tocochromanols content in wheat grain under organic and mineral fertilization regimes. **Molecules**, v. 17, p. 12341-12356, 2012.

KORNDÖRFER, G.H., PEREIRA, H.S., NOLLA, A. **Análise de silício no solo, planta e fertilizantes**, 2nd ed. UFU, Uberlândia. 2004.

KUMARET, V., RANI, A., DIXIT, A.K., PRATAP, D., BHATNAGAR, D. A comparative assessment of total phenolic content, ferric reducing-anti-oxidative power, free radical-scavenging activity, vitamin C and isoflavones content in soybean with varying seed coat colour. **Food Research International**, v. 43, p. 323-328, 2010.

LACERDA, J. J. J. et al. Soybean yield responses to micronutrient fertilizers. In: KASAI, M. **Soybean-the Basis of Yield, Biomass and Productivity**. IntechOpen, 2017. 258p. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5772/67157> Acesso em: 16 de mar. 2022

LANA, R. M. Q., FARIA, M. V., BONOTTO, I., LANA, A. M. Q. Cobalt and molybdenum concentrated suspension for soybean seed treatment. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1715-1720, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600020> Acesso em: 12 nov. 2021.

LAVRES JUNIOR, J.; REIS, A. R.; ROSSI, M. L.; CABRAL, C. P.; NOGUEIRA, N. D. L.; MALAVOLTA, E. Changes in the ultrastructure of soybean cultivars in response to manganese supply in solution culture. **Scientia Agricola**, v. 67, p. 287-294, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000300006> Acesso em: 16 de mar. 2022.

LAVRES, J., CASTRO FRANCO, G., CÂMARA, G. M. S. Soybean seed treatment with nickel improves biological nitrogen fixation and urease activity. **Frontiers in Environmental Science**, v. 4, p. 37, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00037> Acesso em: 10 nov. 2021.

LAVRES, J., CASTRO FRANCO, G., DE SOUSA CÂMARA, G.M. Soybean seed treatment with nickel improves biological nitrogen fixation and urease activity. **Frontiers in Environmental Science**, v. 4, p. 37, 2016.

LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; COSTA, C. N.; RIBEIRO, A. M. B. Nodulação e produtividade de grãos do feijão-caupi em resposta ao molibdênio. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 4, p. 492-497, 2009. Disponível em: <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/472> Acesso em 15 nov. 2021

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**. v. 148, p. 350–382, 1987. 1987. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1) Acesso em: 13 nov. 2021.

LICHTENTHALER, H.K., BUSCHMANN, C., KNAPP, M. How to correctly determine the different chlorophyll fluorescence parameters and the chlorophyll fluorescence decrease ratio RFd of leaves with the PAM fluorometer. **Photosynthetica**, v. 43, p. 379–393, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11099-005-0062-6> Acesso em: 10 nov. 2021.

LIU, J. et al. Systems integration for global sustainability. **Science**, v. 347, n. 6225, 2015. Disponível em: Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1258832> Acesso em: 10 nov. 2021.

LIU, Z., GAO, J., GAO, F., LIU, P., ZHAO, B., ZHANG, J. Photosynthetic characteristics and chloroplast ultrastructure of summer maize response to different nitrogen supplies. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 576, 2018.

MAKOI, J.H.R., NDAKIDEMI, P.A. Biological, ecological and agronomic significance of plant phenolic compounds in rhizosphere of the symbiotic legumes. **African Journal of Biotechnology**, v. 6, p. 1358-1368, 2007.

MALAVOLTA, E. **Manual of mineral nutrition of plants**. 2006, 631 p. Piracicaba: ceres.

MARCONDES, J. A. P.; CAIRES, E. F. Aplicação de molibdênio e cobalto na semente para cultivo da soja. **Bragantia**, v. 64, p. 687-694, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/65Qc73rP795FwFN6Qn7mhDL/?format=pdfelang=pt> Acesso em: 10 nov. 2021.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**, 2nd edn. Academic Press, London, UK. 1995.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 2012.London, UK: Academic Press.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3 ed. Amsterdam: Elsevier, 2012. 643 p.

MASCAGNI JR, H. J.; COX, F. R. Effective rates of fertilization for correcting manganese deficiency in soybeans. **Agronomy Journal**, v. 77, n. 3, p. 363-366,

1985. <https://doi.org/10.2134/agronj1985.00021962007700030003x> Acesso em: 12 nov. 2021.

MASCARENHAS, H. A. A.; ESTEVES, J. A. F.; WUTKE, E. B.; RECO, P. C.; LEÃO, P. D. L. Deficiência e toxicidade visuais de nutrientes em soja. **Nucleus**, v. 10, n. 2, p. 281-306, 2013. Disponível em: http://www.nutricaoodeplantas.agr.br/site/downloads/unesp_jaboticabal/omissao_soja_11.pdf Acesso em: 16 de mar. 2022.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.

MENGEK, K.; KIRKBY, E. A. Copper. In: MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. (eds.) **Principles of Plant Nutrition**. pp. 463-474. International Potash Institute. Worblaufen-Bern. Switzerland

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

MONTANHA, G. S.; DIAS, M. A. N. D.; CORRÊA, C. G.; CARVALHO, H. W. P. Unfolding the Fate and effects of micronutrients supplied to soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) and maize (*Zea mays* L.) through seed treatment. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, n. 4, p. 3194-3202, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42729-021-00598-7> Acesso em: 16 de mar. 2022.

MOREIRA, A.; MORAES, L. A. Soybean response to copper applied to two soils with different levels of organic matter and clay. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, n. 18, p. 2247-2258, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1655039> Acesso em: 14 de mar 2022.

NAGAJYOTHI, P. C., DINAKAR, N., SURESH, S., UDAYKIRAN, Y., SURESH, C., DAMODHARAM, T. Effect of industrial effluent on the morphological parameters and chlorophyll content of green gram (*Phaseolus aureus* Roxb.). **Journal of Environmental Biology**, v. 30, n. 3, p. 385-388, 2009. Disponível em: http://jeb.co.in/journal_issues/200905_may09/paper_12.pdf Acesso em: 15 out. 2021.

OHKI, K. Manganese deficiency and toxicity levels for 'Bragg' soybeans. **Agronomy Journal**, v. 68, n. 6, p. 861-864, 1976. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01904168109362836> Acesso em: 15 out. 2021.

OLIVEIRA, C. O.; PINTO, C. C.; GARCIA, A.; BETTIOL, J. V.; SÁ, M. E.; LAZARINI, E. Produção de sementes de soja enriquecidas com molibdênio. **Revista Ceres**, v. 64, n. 3, p. 282-290, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737x201764030009> Acesso em: 14 de mar 2022.

ORJI, J., NGUMAH, C., ASOR, H., ANUONYEMERE, A. Effects of cobalt and manganese on biomass and nitrogen fixation yields of a free-living nitrogen fixer-*Azotobacter chroococcum*. **European Journal of Biological Research**, v. 8, n. 1, p. 7-13, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.1157098> Acesso em: 15 out. 2021.

PANDA, S. K., KHAN, M. H. Antioxidant efficiency in rice (*Oryza sativa* L.) leaves under heavy metal toxicity. **Journal of Plant Biology**, v. 30, n. 1, p. 23-29, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/234700211_Antioxidant_efficiency_in_rice_Oryza_sativa_L_leaves_under_heavy_metal_toxicity Acesso em: 15 nov. 2021.

PENG, H.; KRONECK, P. M. H.; KÜPPER, H. Toxicity and deficiency of copper in ***Elsholtzia splendens*** affect photosynthesis biophysics, pigments and metal accumulation. **Environmental science e technology**, v. 47, n. 12, p. 6120-6128, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/es3050746> Acesso em: 13 nov. 2021.

PES, L. Z.; ARENHARDT, M. H. 2015. **Fisiologia Vegetal**. Santa Maria: Colégio Politécnico/Rede e-Tec-Brasil. Disponível em: . Acesso em: 19 de Abril de 2022.

PITTMAN, J. K. Managing the manganese: Molecular mechanisms of manganese transport and homeostasis. **New Phytologist**, v. 167, p. 733-742, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01453.x> Acesso em: 14 de mar 2022.

PRADO, R. M.; ROMUALDO, L. M.; ROZEANE, D. E.; VIDAL, A. D. A.; MARCELO, A. V. Modos de aplicação de zinco na nutrição e na produção de matéria seca do milho BRS 1001. **Bioscience Journal**, v. 24, n. 1, p. 67-74, 2008. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6683> Acesso em: 16 de mar. 2022.

PRAKASH, M., GOPALAKRISHNAN, N., CHUNG, M. A mechanistic study on the toxic effect of copper oxide nanoparticles in soybean (*Glycine max* L.) root development and lignification of root cells. **Biological Trace Element Research**, v. 162, n. 1, p. 342-352, 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12011-014-0106-5> Acesso em: 13 nov. 2021.

RAIJ, B., ANDRADE, J., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. IAC, Campinas. 2001

RAYMOND, J.; SIEFERT, J. L.; STAPLES, C. R.; BLANKENSHIP, R. E. The natural history of nitrogen fixation. *Molecular biology and evolution*, v. 21, n. 3, p. 541-554. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/molbev/msh047> Acesso em: 14 de mar 2022.

REHMAN, M.; LIU, L.; WANG, Q.; SALEEM, M. H.; BASHIR, S.; ULLAH, S.; PENG, D. Copper environmental toxicology, recent advances, and future outlook: a review. *Environmental science and pollution research*, v. 26, n. 18, p. 18003-18016, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05073-6> Acesso em: 13 nov. 2021.

REISENAUER, H. M. Relative efficiency of seed-and-soil-applied molybdenum fertilizer. **Agronomy Journal**, v.55, p.459-460, 1963. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj1963.00021962005500050015x> Acesso em: 13 nov. 2021.

RENGEL, D. S.; MEERT, L., HANEL, A.; ESPINDOLA, J. S.; BORGHI, W. A. Diferentes inoculantes e formas de inoculação e sua influência sobre os componentes de produção e teor de nitrogênio da cultura da soja. **Campo Digit@l: Revista de Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**, v. 13, p. 46-51, 2018. Disponível em: <https://revista2.grupointegrado.br/revista/index.php/campodigital/article/view/2382> Acesso em: 13 nov. 2021.

SANTANA, N. A.; FERREIRA, P. A. A.; SORIANI, H. H.; BRUNETTO, G.; NICOLOSO, F. T.; ANTONIOLLI, Z. I.; JACQUES, R. J. S. Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and vermicompost on copper phytoremediation in a sandy soil. **Applied Soil Ecology**, v. 96, p. 172-182, Nov. 2015.

SANTOS, E. F., KONDO SANTINI, J. M., PAIXÃO, A. P., JÚNIOR, E. F., LAVRES, J., CAMPOS, M.; REIS, A. R. Physiological highlights of manganese toxicity symptoms in soybean plants: Mn toxicity responses. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.113, p. 6–19, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.01.022> Acesso em: 16 de mar. 2022.

SCHULZ, T. J., THELEN, K. D. Soybean seed inoculant and fungicidal seed treatment effects on soybean. **Crop science**, v. 48, n. 5, p. 1975-1983, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.2135/cropsci2008.02.0108> Acesso em: 13 nov. 2021.

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M. **Deficiências e toxicidades de nutrientes em plantas de soja**. CNPSo, 2004. 44p. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/downloads/defici%C3%A2ncias%20e%20toxicidade%20de%20nutrientes%20em%20plantas%20de%20soja.pdf> Acesso em: 16 de mar. 2022.

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M.; NEPOMUCENO, A. L.; OLIVEIRA, M. C. N. Eficácia de produtos contendo micronutrientes, aplicados via semente, sobre produtividade e teores de proteína da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 41-45, 1997.

SFREDO, G. J.; DE OLIVEIRA, M. C. N. **Soja: molibdênio e cobalto**. Embrapa Soja-Documents (INFOTECA-E), 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/859439/1/Doc322online1.pdf> Acesso em: 14 nov. de 2021.

SHARMA, C. P. **Plant Micronutrients**. Science Publishers, Enfield, NH, USA. 2006.

SHARMA, K. K., SINGH, U. S., SHARMA, P., KUMAR, A., SHARMA, L. Seed treatments for sustainable agriculture-A review. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 7, n. 1, p. 521-539, 2015. Disponível em:

<https://journals.ansfoundation.org/index.php/jans/article/view/641/598> Acesso em: 14 nov. de 2021.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144-158, 1965. Disponível em: <https://www.ajevonline.org/content/16/3/144.short> Acesso em: 12 nov. 2021.

SOMASEGARAN, P.; HOBEN, H.J. **Handbook for Rhizobia: Methods in Legume-Rhizobium Technology**. New York: Springer-Verlag, 1994. 450p.

SOMMER, A. L.; LIPMAN, C. B. Evidence on the indispensable nature of zinc and boron for higher green plants. **Plant physiology**, v. 1, n. 3, p. 231, 1926. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1104%2Fpp.1.3.231> Acesso em: 16 de mar. 2022.

St CLAIR, S. B.; CARLSON, J. E.; LYNCH, J. P. Evidence for oxidative stress in sugar maple stands growing on acidic, nutrient imbalanced forest soils. **Oecologia**, v. 145, n. 2, p. 257-268, 2005. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00442-005-0121-5> Acesso em: 16 de mar. 2022.

STOUT, P.R., ARNON, D.I. Experimental methods for the study of the role of copper, manganese, and zinc in the nutrition of higher plants. **American Journal of Botany**, v. 26, p. 144-149, 1939. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2436530> Acesso em: 12 nov. 2021.

SULINO, W. C.; BUSO, W. H. D. Adubação foliar (S, Mn e Zn) em diferentes estádios fenológicos do feijoeiro comum irrigado. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, p. e388101018830-e388101018830, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i10.18830> Acesso em: 16 de mar. 2022.

SUTRADHAR, A. K.; KAISER, D. E.; BEHNKEN, L. M. Soybean response to broadcast application of boron, chlorine, manganese, and zinc. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 3, p. 1048-1059, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj2016.07.0389> Acesso em: 12 nov. 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 5 ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2010. 782 p.

TEIXEIRA, I. R.; BORÉM, A.; ARAÚJO, G. A. A.; ANDRADE, M. J. B. Teores de nutrientes e qualidade fisiológica de sementes de feijão em resposta à adubação foliar com manganês e zinco. **Bragantia**, v. 64, p. 83-88, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052005000100009> Acesso em: 12 nov. 2021.

TIECHER, T. L.; CERETTA, C. A.; FERREIRA, P. A. A.; LOURENZI, C. R.; TIECHER, T.; GIROTTO, E.; NICOLOSO, F. T.; SORIANI, H. H.; DE CONTI, L.; MIMMO, T.; CESCO, S.; BRUNETTO, G. The potential of Zea mays L. in remediating copper and zinc contaminated soils for grapevine production. **Geoderma**, v. 262, p. 52-61, Jan. 2016a.

TIECHER, T. L.; TIECHER, T.; CERETTA, C. A.; FERREIRA, P. A. A.; NICOLOSO, F. T.; SORIANI, H. H.; TASSINARI, A.; PARANHOS, J. T.; DE CONTI, L.; BRUNETTO, G. Physiological and nutritional status of black oat (*Avena strigosa* Schreb.) grown in soil with interaction of high doses of copper and zinc. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 106, p. 253-263, Sep. 2016b.

USDA. United States Department of Agriculture. World Agricultural Production. 2017 Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf> Acesso em: 09 nov. 2021

VALDEZ, D. et al. Manganese application alleviates the water deficit-induced declined of N₂ fixation. **Plant Cell and Environment**, v.23, p.497-505, 2000. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-3040.2000.00562.x> Acesso em: 14 de mar 2022.

VANCE, C. Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition. Plant nutrition in a world of declining renewable resources. **Plant Physiology**, v. 127, n. 2, p. 391–397, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.010331> Acesso em: 14 de mar. 2022.

WALLACE, A., ROMNEY, E. M., ALEXANDER, G. V., KINNEAR, J. Phytotoxicity and some interactions of the essential trace metals iron, manganese, molybdenum, zinc, copper, and boron. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 8, n. 9, p. 741-750, 1977. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00103627709366768> Acesso em: 09 nov. 2021.

WEISANY, W.; RAEI, Y.; ALLAHVERDIPOOR, K. H. Role of some of mineral nutrients in biological nitrogen fixation. **Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences**, v. 2, n. 4, p. 77-84, 2013. Disponível em: <http://www.topsoils.co.nz/wp-content/uploads/2014/09/Role-of-some-of-Mineral-Nutrients-in-Biological-Nitrogen-Fixation-Academy-for-Environment-and-Life-Sciences.pdf> Acesso em: 14 de mar. 2022.

YANG, J., SONG, Z., MA, J. HAN, H. Toxicity of Molybdenum-based nanomaterials on the soybean–rhizobia symbiotic system: Implications for nutrition. **ACS Applied Nano Materials**, v. 3, p. 5773-5782, 2020.

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> Acesso em: 16 de mar. 2022.