



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
MESTRADO EM AGRONOMIA**

**JAMESON BENEDITO DA SILVA**

**APLICAÇÃO FOLIAR DE COBRE NA QUALIDADE DE SEMENTES E  
CRESCIMENTO DA SOJA**

Presidente Prudente - SP  
2025



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
MESTRADO EM AGRONOMIA**

**JAMESON BENEDITO DA SILVA**

**APLICAÇÃO FOLIAR DE COBRE NA QUALIDADE DE SEMENTES E  
CRESCIMENTO DA SOJA**

Dissertação apresentada Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre – Área de concentração: Produção Vegetal

Orientador:  
Profa. Dra. Ceci Castilho Custódio

Presidente Prudente - SP  
2025

### Catálogo Internacional de Publicação (CPI)

631.53  
S586a

Silva, Jameson Benedito da.

Aplicação foliar de cobre na qualidade de sementes e crescimento da soja/Jameson Benedito da Silva. – Presidente Prudente, 2025.  
59 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) -  
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste,  
Presidente Prudente, SP, 2025.

Bibliografia.

Orientador: Ceci Castilho Custódio

1. *Glycine max* L. 2. Cu. 3. Fornecimento de nutrientes. I. Título.

Bibliotecária: Sofia da Cunha Gonçalves – CRB 8\10943

## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: “APLICAÇÃO FOLIAR DE COBRE NA QUALIDADE DE SEMENTES E CRESCIMENTO DA SOJA”**

**AUTOR(A): JAMESON BENEDITO DA SILVA**

**ORIENTADOR(A): Profa. Dra. Ceci Castilho Custódio**

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE em AGRONOMIA

Área de Concentração PRODUÇÃO VEGETAL, pela Comissão Examinadora:

**Profa. Dra. CECI CASTILHO CUSTÓDIO** (orientadora)

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

**Prof. Dr. TIAGO BENEDITO DOS SANTOS**

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

**Profa. Dra. FABIANA LIMA ABRANTES**

Consultoria e Treinamento / Chapadão do Sul (MS)

Data da realização: Presidente Prudente, 28 de março de 2025.

## Central de Assinaturas Eletrônicas

### Sobre o documento

Assunto: Documento eletrônico  
Status do documento: Concluído  
Data de criação do documento: 01/04/2025 16:12  
Fuso horário: (UTC-03:00) Brasília  
Número de assinaturas: 3  
Solicitante: KEID RIBEIRO KRUGER (#6080840)

### Signatários do documento

#### CECI CASTILHO CUSTODIO (PROFESSOR)

ceci@unoeste.br  
Recebido em 01/04/2025 16:12  
Assinado em 03/04/2025 08:42  
Assinatura Interna UNOESTE  
Usando endereço IP: 177.131.39.1  
ID da assinatura: 4624939

#### TIAGO BENEDITO DOS SANTOS (PROFESSOR)

dossantos@unoeste.br  
Recebido em 01/04/2025 16:12  
Assinado em 01/04/2025 16:20  
Assinatura Interna UNOESTE  
Usando endereço IP: 177.131.39.1  
ID da assinatura: 4624940

#### FABIANA LIMA ABRANTES (SIGNATÁRIO EXTERNO)

fabilabrantes@gmail.com  
Recebido em 01/04/2025 16:12  
Assinado em 01/04/2025 17:04  
Assinatura Interna UNOESTE  
Usando endereço IP: 45.160.253.32  
ID da assinatura: 4624941

URL do documento: <https://www.unoeste.br/ca/cf189f08>

Assinatura digital do documento: 2833ed6b77246b2154ee3a2fbbc22cf71eb542d63004c3d59e7de74ea6fadc6a

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista

Mantida pela Associação Prudentina de Educação e Cultura - APEC

Utilize o QRCode abaixo para conferir a autenticidade deste documento:



## **DEDICATÓRIA**

A Deus, por me conceder força e sabedoria ao longo desta caminhada.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida.

À minha mãe, Clementina, ao meu pai, Manoel, a minha amada Cristiane, e aos meus irmãos, que sempre acreditaram em mim. Em especial, ao Geniel, *in memoriam*, cuja luta contra a doença me ensinou a valorizar as coisas simples da vida e a nunca desistir, por mais difíceis que sejam os desafios. Sempre há uma saída, e devemos nos preocupar apenas com aquilo que está ao nosso alcance.

À Gesica Donato, pelo apoio e suporte na implementação do meu experimento.

À Profa. Dra. Ceci Custódio, minha orientadora, e aos professores da minha banca de acompanhamento, Fábio Araújo e Tiago Benedito dos Santos, que me indicaram novos caminhos nesta dissertação.

A todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para esta conquista. Minha gratidão a cada um de vocês.

*“Agricultura sem ciência é uma  
fazenda de porteiras fechadas”.*  
(Iago Fernandes)

## RESUMO

### **Aplicação foliar de cobre na qualidade de sementes e crescimento da soja**

A aplicação foliar de micronutrientes é uma prática amplamente adotada nas culturas, especialmente na soja, sendo sua eficácia influenciada pela solubilidade das fontes de nutrientes e pelo uso de agentes quelantes, que afetam a absorção e translocação dos nutrientes pelas plantas. Objetivou-se avaliar os efeitos de doses de cobre (Cu), com formulações diferentes, aplicadas via foliar, sobre a qualidade das sementes e crescimento da soja cultivadas em diferentes sistemas de manejo: cultivo irrigado e sequeiro. O experimento foi conduzido em duas áreas distintas no município de Lucas do Rio Verde, Mato Grosso. No cultivar NEO 790, foram testadas quatro doses de cobre (0, 0,4, 0,6 e 0,8 kg ha<sup>-1</sup>), aplicadas a partir de duas fontes do elemento, denominadas A e F, em um esquema fatorial 2 x 4, com delineamento em blocos casualizados (DBC). Os componentes de produtividade foram avaliados, e a qualidade das sementes foi analisada em laboratório. Os resultados da análise de variância mostraram diferenças significativas entre os sistemas de cultivo, porém, não houve diferenças estatisticamente relevantes entre as fontes e doses de Cu. As condições climáticas atípicas da safra 2023/2024 dificultaram a obtenção de resultados consistentes. Em muitos casos, os melhores desempenhos foram observados no controle e no tratamento com a dose de 0,4 kg.ha<sup>-1</sup> para ambas as fontes, sugerindo que, em anos com condições climáticas semelhantes e sem deficiência nutricional no solo, pode não ser necessário o uso de doses complementares de Cu. Em suma, esses resultados reforçam a necessidade de estudos mais detalhados para confirmar os benefícios do uso de Cu na soja em diferentes cenários climáticos e de manejo.

**Palavras-chave:** *Glycine max* L.; irrigação; sequeiro; cu; desempenho agrônômico.

## ABSTRACT

### Foliar application of copper on seed quality and growth of soybean

Foliar application of micronutrients is a widely adopted practice in crop production, especially in soybean. Its effectiveness is influenced by the solubility of nutrient sources and the use of chelating agents, which affect nutrient absorption and translocation within the plant. This study aimed to evaluate the effects of foliar-applied copper (Cu) doses, using different formulations, on seed quality and soybean growth under different management systems: irrigated and rainfed cultivation. The experiment was conducted in two distinct areas in the municipality of Lucas do Rio Verde, Mato Grosso, Brazil. In the NEO 790 cultivar, four copper doses (0, 0.4, 0.6, and 0.8 kg ha<sup>-1</sup>) were tested, using two sources of the element, labeled A and F, in a 2x4 factorial scheme with a randomized block design (RBD). Yield components were evaluated, and seed quality was analyzed in the laboratory. The results of the analysis of variance revealed significant differences between cultivation systems; however, no statistically significant differences were observed between Cu sources and doses. The atypical weather conditions of the 2023/2024 growing season hindered the acquisition of consistent results. In many cases, the best performances were observed in the control treatment and with the 0.4 kg ha<sup>-1</sup> dose for both sources, suggesting that, in years with similar climatic conditions and without soil nutrient deficiencies, the use of additional Cu doses may not be necessary. In summary, these results reinforce the need for more detailed studies to confirm the benefits of Cu application in soybean under different climatic and management scenarios.

**Keywords:** *Glycine max* L.; irrigation; rainfed; cu; agronomic performance.

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

|                 |                                     |
|-----------------|-------------------------------------|
| ATP             | Adenosina Trifosfato                |
| A               | Altura final                        |
| B               | Boro                                |
| CA              | Cálcio                              |
| CTC             | Capacidade de Troca Catiônica       |
| CO              | Cobalto                             |
| CU              | Cobre                               |
| C               | Comprimento Total de Plântulas      |
| CO <sub>2</sub> | Dióxido de Carbono                  |
| EPIS            | Equipamentos de Proteção Individual |
| V               | Fase Vegetativa                     |
| FE              | Ferro                               |
| GPR             | Germinação por Protrusão de Raiz    |
| MG              | Magnésio                            |
| MN              | Manganês                            |
| M100            | Massa de 100 sementes               |
| MS              | Massa Seca Total de Plântula        |
| MT              | Mato Grosso                         |
| MO              | Molibdênio                          |
| N               | Nitrogênio                          |
| P               | População final                     |
| K               | Potássio                            |
| PSB             | Produtividade de Sementes Brutas    |
| PSL             | Produtividade de Sementes Líquidas  |
| R               | Reprodutiva                         |
| SP              | Sementes por planta                 |
| SB              | Soma de Bases                       |
| V               | Vegetativa                          |
| ZN              | Zinco                               |

## LISTA DE QUADROS

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 — Descrição dos estádios vegetativos da soja.....  | 19 |
| Quadro 2 — Descrição dos estádios reprodutivos da soja..... | 20 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 — Plântula de soja. ....                                                                                                            | 18 |
| Figura 2 — Aplicação via foliar de nutrientes em plantação de soja. ....                                                                     | 24 |
| Figura 3 — Análise climática da área irrigada da safra da soja 2023/2024 entre os dias 30 de setembro de 2023 e 26 de janeiro de 2024. ....  | 34 |
| Figura 4 — Análise climática da área sequeiro da safra da soja 2023/2024 entre os dias 20 de outubro de 2023 e 23 de fevereiro de 2024. .... | 34 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 — Análise de solos.....                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 38 |
| Tabela 2 — População final (P), altura final das plantas (A) e número de sementes por planta (SP) obtidas de plantas do cultivar de soja NEO 790 que foram cultivadas com diferentes fontes e doses de Cu em ambiente irrigado e sequeiro em São Lucas do Rio Verde (MT).....                                          | 39 |
| Tabela 3 — Massa de 100 sementes (M100), produtividade de sementes brutas (PSB) e produtividade de sementes líquidas (PSL) obtidas de plantas do cultivar de soja NEO 790 que foram cultivadas com diferentes fontes e doses de Cu em ambiente irrigado e sequeiro em São Lucas do Rio Verde (MT). ....                | 42 |
| Tabela 4 — Germinação por protrusão de raiz (GPR), Comprimento total de plântulas (C) e Massa seca total de plântula (MS) obtidas de sementes cujas plantas-mães do cultivar de soja NEO 790 foram cultivadas com diferentes fontes e doses de Cu em ambiente irrigado e sequeiro em São Lucas do Rio Verde (MT). .... | 44 |

## SUMÁRIO

|            |                                                                                                             |           |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                                                     | <b>14</b> |
| <b>1.1</b> | <b>Justificativa.....</b>                                                                                   | <b>14</b> |
| <b>1.2</b> | <b>Hipótese .....</b>                                                                                       | <b>15</b> |
| <b>2</b>   | <b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>                                                                           | <b>17</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Soja e suas peculiaridades agronômicas.....</b>                                                          | <b>17</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Os benefícios do cobre (Cu) para o crescimento e desenvolvimento da soja .....</b>                       | <b>21</b> |
| <b>2.3</b> | <b>Toxidez por cobre (Cu) no solo e seus impactos .....</b>                                                 | <b>22</b> |
| <b>2.4</b> | <b>Adubação foliar e sua importância na agricultura.....</b>                                                | <b>23</b> |
| <b>2.5</b> | <b>Efeitos da aplicação foliar de fontes e doses diferentes de cobre ( Cu) no crescimento da soja .....</b> | <b>28</b> |
| <b>2.6</b> | <b>Efeito do cobre (Cu) na qualidade de sementes .....</b>                                                  | <b>30</b> |
| <b>3</b>   | <b>OBJETIVO.....</b>                                                                                        | <b>32</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Objetivo geral .....</b>                                                                                 | <b>32</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Objetivo específicos .....</b>                                                                           | <b>32</b> |
| <b>4</b>   | <b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>                                                                              | <b>33</b> |
| <b>5</b>   | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                                                         | <b>39</b> |
| <b>6</b>   | <b>CONCLUSÃO .....</b>                                                                                      | <b>48</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                                                                     | <b>49</b> |
|            | <b>ANEXOS.....</b>                                                                                          | <b>58</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A soja desempenha um papel vital no panorama agrícola e econômico mundial, sendo uma das culturas mais importantes e versáteis cultivadas globalmente. Seu impacto abrange várias esferas, desde a segurança alimentar até a economia e o meio ambiente.

A aplicação foliar na cultura da soja pode ser uma ferramenta valiosa para corrigir deficiências nutricionais, promover o crescimento saudável das plantas, aumentar a resistência a estresses e maximizar a produtividade, especialmente em situações específicas onde as condições do solo ou do ambiente requerem uma abordagem direta e imediata.

Nesse contexto, o cobre (Cu) emerge como um micronutriente essencial, desempenhando papéis fundamentais nos processos fisiológicos das plantas, especialmente na cultura da soja. Sua importância pode ser destacada pelos seguintes pontos: atividade enzimática, fixação de nitrogênio (N), resistência a estresses abióticos, síntese de clorofila e desenvolvimento de estruturas reprodutivas. Uma adequada disponibilidade desse micronutriente é importante para garantir o crescimento saudável, a produtividade e a qualidade das plantas de soja.

Este estudo propõe-se a investigar os efeitos da aplicação foliar de doses e duas fontes de Cu na qualidade das sementes, explorando seus potenciais benefícios na promoção do crescimento, desenvolvimento e resistência das plantas a fatores adversos em dois ambientes de cultivo: sequeiro e irrigado. Por meio de uma abordagem científica rigorosa, almejamos contribuir para o avanço do conhecimento nesta área, fornecendo *insights* valiosos para aprimorar as práticas agrícolas e maximizar o rendimento das lavouras de soja.

### 1.1 Justificativa

A investigação sobre a aplicação foliar de duas fontes comerciais de Cu, com 5 e 14% do elemento, na qualidade das sementes e crescimento da soja reveste-se de grande relevância devido à importância desse micronutriente para o metabolismo vegetal e à sua deficiência frequentemente observada em solos arenosos, caracterizados por sua baixa capacidade de retenção de nutrientes. O

Cu é essencial para processos vitais, como a fotossíntese, a respiração celular e a biossíntese de lignina, desempenhando um papel indispensável no crescimento e no desenvolvimento saudável das plantas (Babcock *et al.*, 2019).

A aplicação foliar de micronutrientes, como o Cu, tem se mostrado uma estratégia eficiente para corrigir deficiências nutricionais, especialmente em condições em que o solo apresenta limitações químicas ou físicas. Essa prática permite que as plantas absorvam rapidamente os nutrientes necessários, maximizando seu potencial produtivo (Mir; Pichtel; Hayat, 2021). Diante disso, avaliar o impacto de diferentes fontes de Cu aplicadas via foliar na cultura da soja é fundamental para identificar métodos mais eficazes e sustentáveis, contribuindo para o uso racional de insumos agrícolas e a redução de impactos ambientais (Schneider *et al.*, 2020).

A compreensão da influência de diferentes fontes de Cu na qualidade de sementes e produtividade da soja fornece subsídios importantes para a tomada de decisão dos produtores, possibilitando a adoção de práticas de manejo alinhadas aos princípios da agricultura de precisão. Essa abordagem promove uma nutrição vegetal mais adequada e adaptada às características específicas de solos arenosos e às exigências nutricionais das cultivares de soja (Mir; Pichtel; Hayat, 2021). Além disso, o desenvolvimento de recomendações específicas para a adubação foliar de Cu em solos com deficiência desse nutriente pode fortalecer uma agricultura mais produtiva, sustentável e competitiva, ao mesmo tempo em que atende às crescentes demandas econômicas e ambientais.

## **1.2 Hipótese**

Fornecer Cu pode melhorar a qualidade das sementes de soja e aumentar o crescimento e a produtividade devido ao papel essencial do Cu em processos como fotossíntese e fixação de N. A absorção e translocação de Cu depende de fatores como a forma química do nutriente e o pH do solo, então fontes mais solúveis poderiam ser melhor assimiladas. Testes comparando fontes e doses de Cu via foliar podem avaliar sua eficácia na qualidade de sementes e crescimento da soja.

Além disso, o Cu contribui para a tolerância ao estresse e resistência às doenças, auxiliando na proteção contra danos oxidativos e na produção de

compostos antimicrobianos. Estudos indicam que um bom fornecimento de Cu melhora a germinação, o vigor e a resistência das sementes. Essa hipótese sugere que uma nutrição adequada com Cu pode beneficiar o cultivo de soja, embora mais pesquisas sejam necessárias para confirmar esses efeitos e definir a melhor estratégia de aplicação.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Soja e suas peculiaridades agronômicas

A agricultura é uma das bases fundamentais da civilização humana, sendo essencial para a segurança alimentar, o desenvolvimento econômico e a sustentabilidade ambiental. Desde os primórdios, a prática agrícola permitiu a transição das sociedades nômades para comunidades sedentárias, possibilitando o crescimento populacional e o surgimento das primeiras cidades (Melo *et al.*, 2022). Reconhecida globalmente como uma atividade fundamental, a sojicultura é amplamente considerada uma *commodity* (Lima, 2021).

Botanicamente, a soja (*Glycine max* L.,  $2n=40$ ), pertencente à família Fabaceae, é uma planta dicotiledônea de ciclo anual, amplamente reconhecida pela produção de grãos ricos em proteína e óleo, fundamentais para a alimentação humana e animal (Mangena, 2023). Originária do extremo oriente asiático há mais de 5.000 anos, a soja ancestral era uma planta rasteira que crescia ao longo de rios e lagos, muito diferente das variedades atuais (Page, 2017).

A história da soja remonta aos tempos antigos, sendo citada pela primeira vez por Shen-Nung, imperador chinês responsável pelo início de seu cultivo como alternativa à proteína de origem animal (Nunes, 2016). Considerada um grão sagrado ao lado de culturas como arroz e trigo, a soja teve práticas ritualísticas associadas a seu plantio e colheita (APROSOJA MT, 2023).

A expansão da cultura da soja no Brasil, especialmente nas décadas de 70 e 80, teve um impacto significativo ao estimular o desenvolvimento econômico e populacional em regiões até então pouco povoadas, como o cerrado e o Brasil Central (Gomes *et al.*, 2017; Machado, 2018).

A Embrapa destaca que a soja é uma cultura de ciclo anual, variando de 100 a 150 dias, com diferentes cultivares classificados de acordo com o tempo de plantio à colheita: super-precoce, precoce, normal e tardia (EMBRAPA SOJA, 2015). A cultura requer umidade do solo variando de 50-85% e uma faixa de precipitação de 400 a 850 mm por ciclo, sendo sensível ao fotoperiodismo e necessitando de uma temperatura média de 25°C para um desenvolvimento ideal (Neumaier *et al.*, 2020).

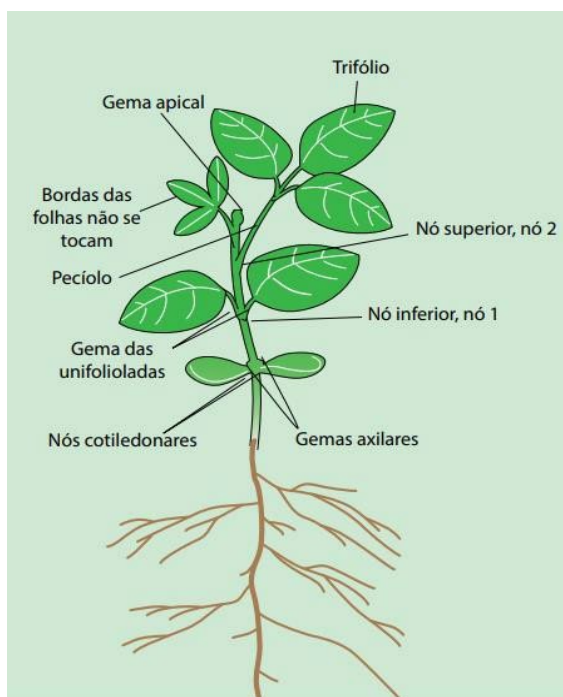
O avanço da soja no Brasil foi impulsionado por avanços científicos e

tecnológicos, além do desenvolvimento de cultivares adaptados às condições edafoclimáticas variadas, resultando em aumentos significativos de produtividade (EMBRAPA, 2023). A contribuição de pioneiros como Romeu Afonso de Souza Kiihl na agronomia brasileira foi fundamental para esse desenvolvimento, moldando práticas e técnicas que continuam a beneficiar o setor agrícola (Kiihl, 2022).

A implantação de programas de melhoramento genético foi crucial para expandir a cultura da soja em baixas latitudes no Brasil, desenvolvendo cultivares adaptados que melhoraram a produtividade e a sustentabilidade (Milioli *et al.*, 2022). A escolha dos cultivares adequados é essencial, considerando características como número de vagens por planta, massa dos grãos e altura das plantas, influenciadas por fatores genéticos e de manejo agrícola (Stülp *et al.*, 2009).

A história e evolução da soja no Brasil refletem não apenas avanços agrícolas e tecnológicos, mas também a adaptação constante às condições ambientais e socioeconômicas, reforçando sua posição como uma das culturas agrícolas mais importantes do país (Anderson *et al.*, 2021; Martins *et al.*, 2020). Compreender a fisiologia do cultivar é essencial para o manejo adequado, visando alcançar maiores rendimentos e lucros (Figura 1).

Figura 1 — Plântula de soja.



Fonte: Mais Soja, 2020.

O comprimento do dia, ou fotoperíodo, é de 12 h no dia 22 de setembro,

cresce até 21 de dezembro, e passa a decrescer até 21 de março, quando volta a ser de 12 h e continua diminuindo até 21 de junho. A taxa de alteração do comprimento do dia é determinada pela latitude. Quanto maior a latitude local, maior será o dia, em qualquer data, entre 22 de setembro e 21 de março. Quanto mais próxima a 21 de dezembro, maior será a diferença de comprimento de dias entre latitudes (Black, 2000).

Os estádios vegetativos iniciam com a emergência das plântulas e vão até o início do florescimento (Oliveira Junior *et al.*, 2016). Conforme estudos de Nunes (2016) os estádios reprodutivos iniciam no florescimento, incluem a formação do legume, o enchimento do grão e a maturação da planta. O sistema de representação empregado aqui divide o desenvolvimento da planta em duas fases: vegetativa (V) e reprodutiva (R). Subdivisões da fase vegetativa são designadas numericamente como V1, V2, V3, até Vn, menos os dois primeiros estádios que são designados como VE (emergência) e VC (estádio de cotilédones).

No Quadro 1 encontram-se descritas a fase vegetativa (V) conforme estudos de Fehr e Caviness (1977).

Quadro 1 — Descrição dos estádios vegetativos da soja.

| ESTÁDIO   | SUBTÍTULO           | DESCRIÇÃO                                                                                     |
|-----------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>VE</b> | Emergência          | Cotilédones acima da superfície                                                               |
| <b>VC</b> | Estádio cotiledonar | Folhas unifolioladas com as margens não mais se tocando                                       |
| <b>V1</b> | Primeiro nó         | Folhas unifolioladas desenvolvidas.                                                           |
| <b>V2</b> | Segundo nó          | Folha trifoliolada desenvolvida no nó acima das folhas unifolioladas                          |
| <b>V3</b> | Terceiro nó         | Três nós do caule com folhas desenvolvidas começando com o nó das folhas unifolioladas.       |
| <b>Vn</b> | “n” nó              | “n” número nós do caule com folhas desenvolvidas começando com o nó das folhas unifolioladas. |

Fonte: Fehr e Caviness (1977).

A definição dos estádios reprodutivos da soja (R) se encontram dispostas no Quadro 2 em consonância com os estudos desenvolvidos por Fehr e Caviness (1977).

Quadro 2 - Descrição dos estádios reprodutivos da soja.

| <b>ESTÁDIO</b> | <b>SUBTÍTULO</b>              | <b>DESCRIÇÃO</b>                                                                                                              |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>R1</b>      | Início do florescimento       | Uma flor aberta em qualquer nó do caule                                                                                       |
| <b>R2</b>      | Florescimento pleno           | Uma flor aberta em um dos dois últimos nós do caule com folha desenvolvida.                                                   |
| <b>R3</b>      | Início da formação de legumes | Um legume com 5 mm num dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida.                                                |
| <b>R4</b>      | Formação de legumes           | Um legume com 2 cm num dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida.                                                |
| <b>R5</b>      | Início do enchimento de grãos | Grãos com 3 mm num legume dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida.                                             |
| <b>R6</b>      | Máximo volume de grãos        | Legume contendo ao menos um grão verde que ocupa toda a cavidade, num dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida. |
| <b>R7</b>      | Maturação fisiológica         | Um legume normal, no caule, que atingiu a cor de legume maduro.                                                               |
| <b>R8</b>      | Maturação                     | 95% dos legumes atingiram a cor de legume maduro (perda total da clorofila)                                                   |

Fonte: Fehr e Caviness (1977).

Segundo Dall'agnol (2016), o aumento da produção agrícola exige práticas fitotécnicas aprimoradas, como o uso de sementes de alta qualidade, com foco em germinação, vigor, pureza e sanidade. Esses componentes atuam de forma mútua, garantindo o estabelecimento do estande recomendado, para se atingir boa produtividade.

Para Reuters (2022) a produção de soja brasileira alcançará maior patamar da história ganhando áreas que seriam de milho e algodão, nos próximos anos. Segundo o estudo de Boschiero (2024), a safra brasileira de 2022/2023 produziu cerca de 156 milhões de toneladas de soja. Esse número representa 42% de toda a produção mundial de soja.

Mesmo com a elevada produtividade o agricultor ainda encontra grandes desafios diante da lavoura. Em meio aos desafios da sojicultura, citam-se as diversas patologias que são responsáveis por grandes danos na produtividade das lavouras (Soares *et al.*, 2023).

## 2.2 Os benefícios do cobre (Cu) para o crescimento e desenvolvimento da soja

A produção agrícola depende de uma série de fatores, incluindo a disponibilidade de nutrientes no solo. Os micronutrientes, como Cu, boro (B), manganês (Mn), molibdênio (Mo), cobalto (Co) e zinco (Zn), são essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, mas são absorvidos em quantidades muito menores do que os macronutrientes (Lambers, 2023; Kirkby, 2023; Zuñiga *et al.*, 2017).

O Cu é descrito como um micronutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento da soja (Hansel; Oliveira, 2016). Este elemento está envolvido em uma variedade de processos fisiológicos, incluindo a síntese de clorofila, a fixação de N e a resistência a doenças (Machado, 2018). O Cu atua como cofator em várias enzimas envolvidas na fotossíntese, respiração celular e metabolismo de carboidratos e proteínas (Moreira *et al.*, 2022). Ele é essencial para a atividade da plastocianina, uma proteína chave no transporte de elétrons durante a fotossíntese, garantindo uma eficiente conversão de energia luminosa em energia química (Moreira *et al.*, 2022). Além disso, participa da formação da lignina, um componente estrutural da parede celular, conferindo resistência mecânica e maior proteção contra patógenos (Kumar *et al.*, 2021).

Sua deficiência pode resultar em sintomas como crescimento atrofiado, clorose em folhas jovens, deformações foliares e redução da resistência a doenças. Além disso, solos deficientes em Cu podem levar à diminuição da nodulação, afetando a fixação biológica de N, um processo vital para a produtividade da soja (Amaro *et al.*, 2020).

O Cu é um micronutriente essencial para as plantas, pois é um metal reativo que pode reagir diretamente com o oxigênio molecular, catalisando processos oxidativos essenciais para a vida das plantas (Khalil *et al.*, 2023). Várias proteínas contendo Cu são importantes em processos vitais, como fotossíntese, respiração, desintoxicação de radicais livres de superóxidos e lignificação (Khalil *et al.*, 2023).

A deficiência de Cu pode ocorrer em diferentes tipos de solo. No entanto, solos orgânicos, arenosos e com alta presença de íons metálicos são mais propensos à deficiência de Cu (Khalil *et al.*, 2023). O Cu no solo está presente

principalmente na forma de cátion divalente,  $\text{Cu}^{2+}$ . Ele pode ser encontrado em diferentes formas, sendo que a maior parte está complexada pela matéria orgânica na solução do solo, podendo representar até 98% do total (Hansel; Oliveira, 2016; Khalil *et al.*, 2023).

O Cu é adsorvido com alta energia pelo solo, formando complexos de esfera interna (Cancian, 2018; Tu *et al.*, 2024,). Nesses complexos, o Cu perde a água que o circunda e se liga diretamente aos grupos funcionais da superfície do solo (Mascarenhas *et al.*, 2013). A adsorção ocorre por meio de ligações covalentes e iônicas, o que é chamado de quimiossorção ou adsorção específica. Particularmente, a soja com deficiência de Cu pode apresentar folhas amareladas, com nervuras verdes. O crescimento da planta é reduzido e ela pode adquirir uma coloração acinzentada ou azulada (Abbas *et al.*, 2021). A deficiência desse micronutriente reduz a atividade de várias enzimas importantes, incluindo a plastocianina (Taiz *et al.*, 2024).

Estudos de Cancian (2018) apontam que o fornecimento adequado de Cu é essencial para o crescimento e desenvolvimento saudável da soja, sendo necessário para a síntese de clorofila, fixação de N e resistência a doenças. Diante o exposto, a deficiência de Cu pode levar à clorose, redução do crescimento, queda de folhas e redução da produção de grãos. Fertilizantes de Cu, como sulfato de Cu ou óxido de Cu, podem ser usados para fornecer Cu às plantações.

### **2.3 Toxidez por cobre (Cu) no solo e seus impactos**

A toxidez por Cu ocorre quando há um excesso desse micronutriente no solo, seja por aplicações repetidas de fungicidas cúpricos, fertilizantes ou devido a atividades industriais e de mineração. Embora o Cu seja essencial para as plantas, em concentrações elevadas ele pode comprometer seu desenvolvimento e afetar a microbiota do solo (Khalil *et al.*, 2023).

O excesso de Cu interfere na absorção de outros nutrientes, como ferro (Fe), Zn e Mn, além de causar estresse oxidativo, inibir o crescimento radicular e prejudicar a fotossíntese (Marschner, 2012). Isso ocorre porque o Cu em altas concentrações pode catalisar a formação de espécies reativas de oxigênio (EROS), resultando em danos às membranas celulares e às proteínas envolvidas no metabolismo vegetal (Santos *et al.*, 2022). Os sintomas típicos da toxidez incluem

clorose nas folhas jovens, necrose nas bordas foliares, redução do crescimento das raízes e queda na produtividade (Fernandes; Rossi, 2017).

A severidade da toxidez por Cu depende de vários fatores edáficos, como pH, teor de matéria orgânica e textura do solo. Solos ácidos e pobres em matéria orgânica tendem a aumentar a disponibilidade de Cu para as plantas, pois em pH mais baixo o Cu fica mais solúvel na solução do solo (Kabata-Pendias, 2011). Além disso, solos arenosos apresentam menor capacidade de retenção do Cu, aumentando sua mobilidade e potencial de absorção pelas plantas (Alloway, 2013).

Para evitar a toxidez por Cu, é essencial adotar práticas de manejo sustentáveis. O monitoramento do solo e do tecido vegetal é uma medida importante, pois a análise química do solo e das plantas permite identificar níveis elevados de Cu e orientar a aplicação correta de fertilizantes e corretivos (Prezotti; Guarçoni, 2013). A correção do pH do solo por meio da calagem pode ser utilizada para elevar o pH do solo, reduzindo a solubilidade do Cu e minimizando sua absorção pelas plantas (Reetz, 2017).

A adição de matéria orgânica ao solo, como compostos orgânicos, esterco e resíduos vegetais, também pode ser uma estratégia eficiente, pois esses materiais podem complexar o Cu, diminuindo sua biodisponibilidade (Marschner, 2012). Além disso, o uso controlado de produtos cúpricos é fundamental para evitar acúmulos no solo, sendo necessário um planejamento criterioso para a aplicação de fungicidas e fertilizantes à base de Cu (Fernandes; Rossi, 2017). Em casos mais graves, a fitorremediação pode ser uma solução viável, utilizando espécies vegetais hiperacumuladoras, como *Brassica juncea* e *Helianthus annuus*, para remover o excesso de Cu do solo de maneira natural (Adrees *et al.*, 2015).

## **2.4 Adubação foliar e sua importância na agricultura**

Fertilizantes são produtos que contêm os nutrientes essenciais para que a planta venha a crescer e prosperar de maneira satisfatória. De acordo com os estudos de Mocellin (2004) os adubos existem naturalmente no solo, na atmosfera e nas fezes de animais. Entretanto nem sempre esses nutrientes, são encontrados no solo para as plantas usarem, ou estão em quantidades insuficientes, isto posto os homens utilizam os fertilizantes para suprir o que as plantas necessitam a fim de crescerem em seu potencial máximo.

Para ser qualificado como basal, é necessário atender a certos fundamentos essenciais. Segundo Arnon e Stout (1939), três subsídios fundamentais são enumerados para essa aplicabilidade:

- O elemento deve evitar o absentismo para que a planta complete seu ciclo.
- Sua carência é específica e pode ser corrigida apenas pelo fornecimento direto desse componente.
- Esse elemento deve estar integralmente envolvido no nutrimento da planta, não podendo ser substituída sua função por efeitos indiretos de condições químicas ou microbiológicas do solo ou meio de cultura.

Esses subsídios delineiam os critérios necessários para a qualificação de um elemento como basal conforme a perspectiva de Arnon e Stout (1939).

Figura 2 — Aplicação via foliar de nutrientes em plantação de soja.



Fonte: Revista campo e negócios (2019).

O uso de aplicações de fertilizantes via foliar tem crescido nos últimos anos, seja em território nacional ou internacional. Lavres Junior *et al.* (2017) destacam que produtos cada vez mais hábeis e com custo acessível têm sido criados para atender as requisições nutricionais das plantas. Um amplo número de fertilizantes foliares

encontra-se disponíveis no mercado, como fornecedor de um ou mais elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas (Reetz, 2017). Pagani (2020) versa ainda que por meio da observação das questões químicas de solo, diversos elementos são capazes de serem descoberto na amostra e de configuração análoga, o mesmo pode ser analisado nos vegetais superiores.

Comumente, qualquer elemento que esteja na forma disponível tem potencial para ser absorvido (Montanari; Mário; Queiroz, 2024). Todavia, o comparecimento de um elemento químico no tecido vegetal não significa dizer que este constitua como fundamental para a nutrição da planta (Fernández; Sotiropoulos; Brown, 2015).

Em consequência a este fato, foi imprescindível apartar os elementos que são fundamentais para o desenvolvimento e crescimento das plantas, dos que sem ser essenciais, são úteis (Fernández; Sotiropoulos; Brown, 2015). Nesta premissa, ficaram determinados os critérios de imprescindibilidades das substâncias de nutrição para a planta.

Segundo Reetz (2017), o objetivo do manejo de nutrientes é garantir um fornecimento adequado de todos os nutrientes essenciais durante o crescimento das culturas. Este estudo explica que à medida que a produtividade das culturas aumenta, a quantidade de nutrientes exportados dos campos de produção também aumenta, podendo esgotar o suprimento de nutrientes do solo, a menos que seja suplementado com fertilizantes (Reetz, 2017).

Neste contexto, a adubação foliar é um método utilizado para suplementar as necessidades nutricionais das plantas através da absorção de nutrientes pelas folhas. No entanto, não substitui a adubação convencional pelo solo, que envolve a absorção de nutrientes pelas raízes. Isso ocorre porque as concentrações nutricionais necessárias para a produção agrícola geralmente excedem as quantidades que podem ser absorvidas pelas folhas (Nachtigall; Nava, 2010).

Para Fernández e Eichert (2005) a habilidade das folhas em absorver água e nutrientes foi relatada por volta de três séculos. Vista como uma ferramenta de grande relevância para a busca de uma gestão sustentável e bem-sucedida das culturas. Segundo informações de Fernández e Eichert (2009) por se tratar de uma estratégia de aprovisionamento de nutrientes de maneira eficaz que auxilia a fertilização do solo, de base e de cobertura, e que pode prover às plantas nutrientes que se encontram em baixa disponibilidade no solo.

Conforme demonstrado pelos estudos de Fernández, Sotiropoulos e Brown, (2015) sobre a aplicabilidade de solutos nutritivos nas folhas para adubar plantas, como a videira, esta pesquisa teve início no princípio do século IX. Após esses estudos, que investigaram a distinção entre a natureza química e física da cutícula foliar, a fisiologia celular e a composição das folhas, bem como a identificação dos

mecanismos potenciais de penetração.

Como mencionado acima a aplicação de nutrientes às folhas das plantas, com o objetivo de complementar ou suplementar as necessidades nutricionais das mesmas, não é uma prática nova, sendo conhecida há mais de 100 anos (Borkert; Sfredo; Missio 1987) embora, só recentemente, estudada mais a fundo, se comparada a outros métodos de adubação.

Com concordância com Fernández; Sotiropoulos e Brown (2015) que caracterizam a adubação foliar enquanto uma maneira de adubar a lavoura utilizando-se para tal intento oferecer nutritivos minerais aplicados por meio das folhas das plantas. Deste modo, como todos os seres vivos, as plantas também necessitam se alimentar e, no caso delas a nutrição é oferecida através da adubação. Adubar nada mais é do que repor nutrientes minerais que são necessários para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Para Nachtigall e Nava (2010) a adubação foliar torna-se uma prática recomendável desde que aplicada de maneira correta, a fertilização foliar pode ser considerada uma forma de aplicação de nutrientes mais rápida e eficiente do que a fertilização convencional através do solo. Presentemente, constata-se a existência de fertilizantes solúveis em água que podem cumulativamente ser aplicados diretamente na parte aérea das plantas.

Em consonância com os estudos de Nunes (2016), adubação foliar é o processo de aplicação de nutrientes minerais na folha vegetal, através da absorção total (absorção passiva e ativa), com a utilização destes nutrientes por toda a planta, não se limitando a uma terapia local da folha, suprimindo as carências nutricionais em qualquer lugar da morfologia da planta. A adubação foliar não se limita à aplicação de soluções de nutrientes apenas à folhagem das plantas, o tratamento pode se estender aos ramos novos e adultos, das estacas e dos troncos por meio das pulverizações ou pincelamentos, o que é designado de adubação caulinar.

Segundo o Boas Práticas Agronômicas (2019) a adubação foliar é utilizada como complemento da adubação via solo, de forma rápida e eficiente prática está no planejamento e manejo da produção de praticamente todas as espécies cultivadas. Com o alto potencial produtivo das cultivares utilizadas atualmente, adubar via foliar impulsiona a produtividade e proporciona resposta rápida das plantas cultivadas.

Os autores Fernández, Sotiropoulos e Brown (2015) destacam que as características fisiológicas e físicas das plantas podem influenciar a eficácia da

adubação foliar de duas maneiras principais: por meio de alterações na área superficial do dossel e nas propriedades da superfície da planta, afetando a quantidade de nutrientes que atravessa as barreiras superficiais; e por meio de modificações nos processos fisiológicos que afetam a capacidade da planta em absorver nutrientes, tanto imediatamente quanto a longo prazo.

Fertilizantes foliares podem suprir a falta de um ou mais micro e macro nutrientes (especialmente de micronutrientes) corrigindo deficiências, fortalecendo colheitas fracas ou danificadas, aumentando a velocidade e qualidade de crescimento das plantas o que é, na verdade, o grande objetivo (Mocellin, 2004).

Conforme Mendes (2007) o uso desse procedimento necessita ser tomado para o abastecimento de nutrientes em circunstâncias que abranjam o abastecimento de baixas quantidades de nutrientes a aplicar; a uniformidade ao aplicar quantidades muito pequenas; a necessidade de evitar o contato com o solo para minimizar a interação por reações químicas com alguns nutrientes; e a alta taxa de utilização entre as quantidades aplicadas e as absorvidas pelas plantas.

Podem-se citar a luz, a temperatura, a umidade atmosférica, ventos e também o modo de aplicação das pulverizações foliares e a disponibilidade de água no solo são consideradas categorias externas basais que intervêm na absorção foliar de nutrientes minerais (Borges, 2021).

De acordo com Villar (2007) em termos quantitativos, o ar é uma fonte de nutrientes muito mais importantes que o solo, o carbono e o oxigênio (provenientes do ar na forma de CO<sub>2</sub>), constituem 90% da matéria seca das plantas. A água participa como principal constituinte na composição da matéria vegetal (70 – 80%) (Depew *et al.*, 2020). Segundo Gonçalves *et al.* (2017) o solo participa com 1/20 do total dos elementos químicos que compõem a massa vegetal. Assim, dos três meios que fornecem elementos para as plantas (água, ar e solo) é este último o que apresenta menor contribuição, sendo, entretanto, imprescindível, visto que fornece materiais essenciais ao desenvolvimento e produção vegetal (Brady; Weil, 2013).

A absorção foliar apresenta duas fases bem díspares. Segundo estudos de Veneziano (2018) estas fases são classificadas em: a fase chamada de absorção passiva, ou de penetração, em que íons ou moléculas entram na planta por meio de fenômenos puramente físicos, como a difusão simples, facilitada e trocas iônicas. No caso do tratamento das sementes, o micronutriente atravessa a membrana citoplasmática e penetra o vacúolo, num processo metabólico ativo, durante a

germinação (Cavalcante; Oliveira, 2016). A eficiência da absorção dos nutrientes pelas folhas é variável em função de uma série de fatores do meio em que essas folhas se encontram (Quirino; Ribeiro; Silva, 2023).

Quando uma deficiência já se manifesta, pode ser tarde demais para evitar impactos negativos no crescimento e produtividade da planta. A aplicação foliar ideal deve ocorrer de forma preventiva ou no estágio inicial da deficiência, antes que os sintomas visíveis se tornem severos (Boaretto; Lavres Junior; Abreu-Júnior, 2014). De acordo com Silva *et al.* (2022) as aplicações de fertilizantes foliares podem ser feitas em diversos estágios do plantio proporcionando a conquista de diferentes objetivos, elas também são um meio de incrementar um programa de alta produtividade. O que deve ser levado em consideração é a precisão nutricional do cultivar.

Essas épocas encontram-se em geral pouco antes do florescimento e o início do florescimento nas culturas anuais e no crescimento dos frutos (Depew *et al.*, 2020). Para Balen *et al.* (2015) as aspersões foliares devem ser feitas com muita atenção para evitar injúrias, e para que seja aproveitado pelas plantas. Portanto, as pulverizações devem ser uniformes, em pequenas gotículas, e de acordo com dada recomendação.

## **2.5 Efeitos da aplicação foliar de fontes e doses diferentes de cobre (Cu) no crescimento da soja**

O Cu desempenha um papel vital na fisiologia das plantas, sendo um elemento essencial na fotossíntese, na formação de lignina e na proteção contra doenças fúngicas. Segundo Silva *et al.* (2020), a deficiência de Cu pode causar clorose, redução do crescimento e menor formação de vagens na soja. Esse micronutriente atua no metabolismo de enzimas oxidativas, fundamentais na oxidação de compostos fenólicos, contribuindo para a rigidez estrutural da planta.

Além disso, o Cu participa na síntese de proteínas e na fixação biológica de N, o que o torna especialmente importante em solos arenosos e de baixa fertilidade. Plantas com deficiência de Cu frequentemente apresentam folhas enrugadas, necrose nos ápices e comprometimento na formação de vagens, reduzindo significativamente a produtividade (Silva *et al.*, 2020).

A proteção contra doenças fúngicas é outra função crucial do Cu, pois o

micronutriente estimula a produção de compostos fenólicos que atuam na defesa da planta (Culbertson; Culotta, 2021). A carência de Cu pode aumentar a suscetibilidade da soja à ferrugem asiática e a outras doenças (Oliveira; Santos, 2019).

De acordo com Oliveira e Santos (2019), as doses recomendadas de Cu para a cultura da soja variam entre 3 a 15 kg/ha em aplicação no solo, dependendo da análise química e da textura do solo. Solos arenosos, com baixa retenção de nutrientes, geralmente demandam doses mais altas, enquanto solos argilosos e com maior teor de matéria orgânica exigem doses menores.

A definição da dose adequada deve considerar a disponibilidade natural do Cu no solo, o histórico da área e as exigências da cultura. Ferreira; Souza e Lima (2021) ressaltam que doses excessivas podem provocar toxicidade, afetando o crescimento das raízes e prejudicando a absorção de outros nutrientes essenciais.

A aplicação parcelada tem se mostrado uma estratégia eficiente para evitar a lixiviação em solos de baixa capacidade de retenção, além de aumentar a eficiência da adubação. A interpretação correta da análise de solo é imprescindível para garantir um manejo adequado e sustentável (Lima; Costa, 2020).

Os métodos de aplicação do Cu são determinantes para a eficiência na absorção pela planta. A aplicação foliar tem se destacado como uma alternativa rápida e eficiente para corrigir deficiências em curto prazo. Ferreira; Souza e Lima (2021) recomendam essa técnica especialmente quando há sintomas visíveis, como clorose e redução do crescimento, pois proporciona uma resposta rápida e direta.

A fonte de Cu derivada de aminoácidos tem mostrado alto desempenho na absorção pelas plantas, sendo elaborada por hidrólise enzimática, contendo 5% de Cu e 5% de aminoácidos livres (Bioqualita, 2023). Essa formulação otimiza o transporte e a absorção do micronutriente, especialmente nos estágios críticos de crescimento (Marschner, 2012).

Outra fonte comumente utilizada é o Cu-EDTA, um quelato microgranulado altamente solúvel em água, recomendado para solos carentes de Cu ou com altos teores de matéria orgânica (Lignokel, 2023). Com concentração de 14,5% de Cu solúvel, essa fonte permite aplicações foliares ou via fertirrigação, contribuindo para o desenvolvimento equilibrado da planta (Agrigento, 2023).

O tratamento de sementes com Cu é outra prática que tem se mostrado eficiente, promovendo a germinação e o desenvolvimento inicial das plantas (Lima;

Costa, 2020). Esse método utiliza menores quantidades do nutriente, reduzindo o risco de toxicidade e otimizando o aproveitamento na fase inicial.

A aplicação no solo, embora mais lenta, oferece uma distribuição uniforme do nutriente e é recomendada para corrigir deficiências crônicas. A combinação de métodos, como o tratamento de sementes seguido pela aplicação foliar, tem se mostrado uma estratégia eficiente para garantir o fornecimento contínuo de Cu ao longo do ciclo da cultura (Ferreira; Souza; Lima, 2021).

## **2.6 Efeito do cobre (Cu) na qualidade de sementes**

A qualidade das sementes de soja está intimamente ligada à disponibilidade de Cu no solo, e sua deficiência pode afetar diretamente o desempenho das sementes e o estabelecimento das plântulas (Silva *et al.*, 2023). Em condições de deficiência de Cu, as plantas produzem sementes com menor vigor e uma taxa de germinação reduzida, prejudicando o processo inicial de crescimento no campo. Além disso, sementes provenientes de plantas com deficiência de Cu geralmente apresentam um peso inferior e modificações em sua composição química, como a redução nos teores de proteínas e óleo, o que compromete tanto a qualidade nutricional quanto a viabilidade das sementes (Bagale, 2021).

O Cu também exerce um papel fundamental na sanidade das sementes, visto que a deficiência desse micronutriente aumenta a vulnerabilidade das plantas a doenças fúngicas e bacterianas (Ruffo, 2023). Esse fenômeno ocorre porque o Cu é essencial para a síntese de compostos fenólicos e para a manutenção da integridade das membranas celulares, que são fatores chave na defesa contra patógenos. Sem o adequado suprimento de Cu, a capacidade de resistência das plantas diminui, resultando em sementes de qualidade fitossanitária inferior (Moreira *et al.*, 2022).

Para garantir um fornecimento adequado de Cu às plantas de soja e, consequentemente, à produção de sementes de alta qualidade, é fundamental adotar práticas de manejo nutricional eficazes (Silva *et al.*, 2023). A realização de análises de solo e foliares é imprescindível para monitorar os níveis de Cu e evitar deficiências (Kumar *et al.*, 2021). A aplicação de fertilizantes contendo Cu, como sulfato de Cu ou quelatos, pode ser necessária em solos com carência desse micronutriente. No entanto, é importante controlar a quantidade aplicada, pois o

excesso de Cu pode ser tóxico e interferir na absorção de outros nutrientes essenciais, prejudicando o crescimento e o desenvolvimento das plantas (Mir; Pichtel; Hayat, 2021).

Estudos de Moreira *et al.* (2022) indicam que a deficiência de Cu pode ocorrer em solos ricos em matéria orgânica e mal drenados, e que a correção dessa deficiência pode não ser eficaz apenas com a aplicação foliar ou no solo. Estudos de Sulino e Buso (2021) mostrou que a aplicação foliar de B, Cu, Mn e Zn durante estágios específicos do crescimento da soja pode corrigir deficiências nutricionais e melhorar o rendimento das sementes, reforçando a importância de um manejo nutricional preciso.

### **3 OBJETIVO**

#### **3.1 Objetivo geral**

Avaliar os efeitos de doses e duas fontes de Cu, AminoQuelant 5% e Folikel 14%, aplicadas via foliar em soja.

#### **3.2 Objetivo específico**

Verificar a qualidade de sementes e crescimento de soja cultivadas sob diferentes sistemas de manejo: cultivo irrigado com semeadura realizada em setembro e cultivo de sequeiro com semeadura realizada em outubro.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em duas áreas distintas no município de Lucas do Rio Verde, Mato Grosso (MT), localizado a cerca de 350 km ao norte de Cuiabá.

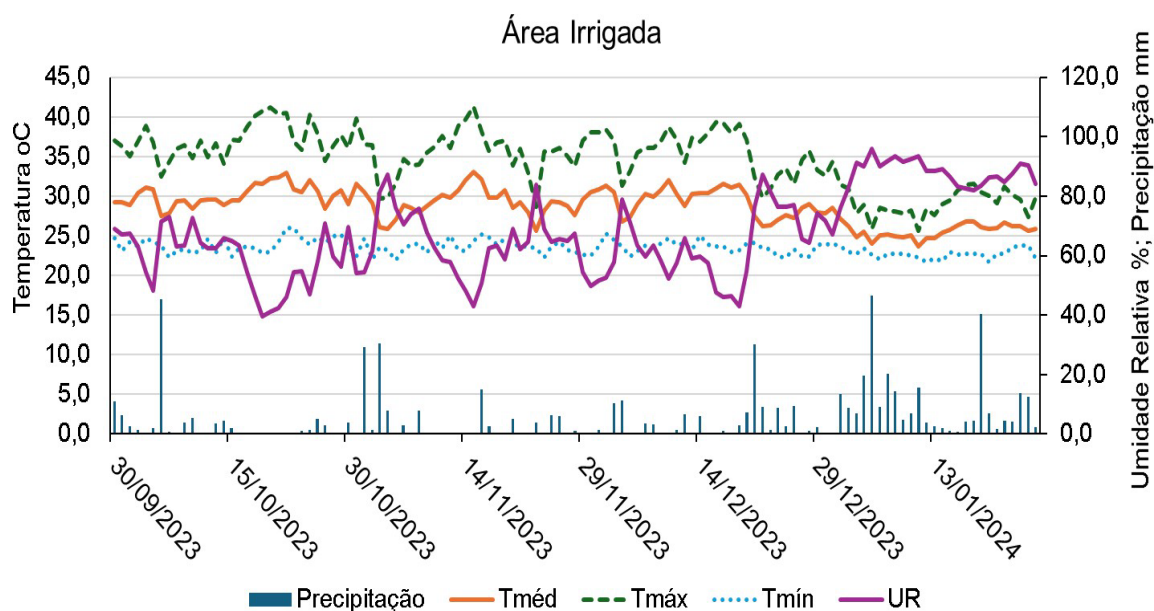
A primeira área, com semeadura realizada em setembro, utilizou um sistema de irrigação por pivô central e localizada na latitude -13.102677 e longitude -55.948599. O manejo hídrico foi ajustado conforme volumes e frequências variáveis, atendendo às necessidades específicas da soja e às condições climáticas ao longo do ciclo produtivo. A segunda área, semeada em outubro, foi cultivada sob regime de sequeiro, situada na latitude -13.213820 e longitude -55.563872.

Lucas do Rio Verde (MT) apresenta clima tropical de savana, classificado como Aw segundo a classificação de Köppen-Geiger. A região, com altitude média de 410 metros, tem precipitação pluviométrica anual de 2.333 mm. A estação chuvosa, de setembro a abril, concentra a maior parte da precipitação, enquanto a estação seca, de maio a setembro, é marcada por uma umidade relativa do ar abaixo de 40%.

A temperatura média anual é de 27,7°C, com picos entre outubro e março. Janeiro é o mês mais chuvoso, com 349 mm de precipitação média, enquanto agosto apresenta o menor índice, com apenas 3 mm. A insolação média anual é de cerca de 1.500 h, o que favorece o desenvolvimento da soja.

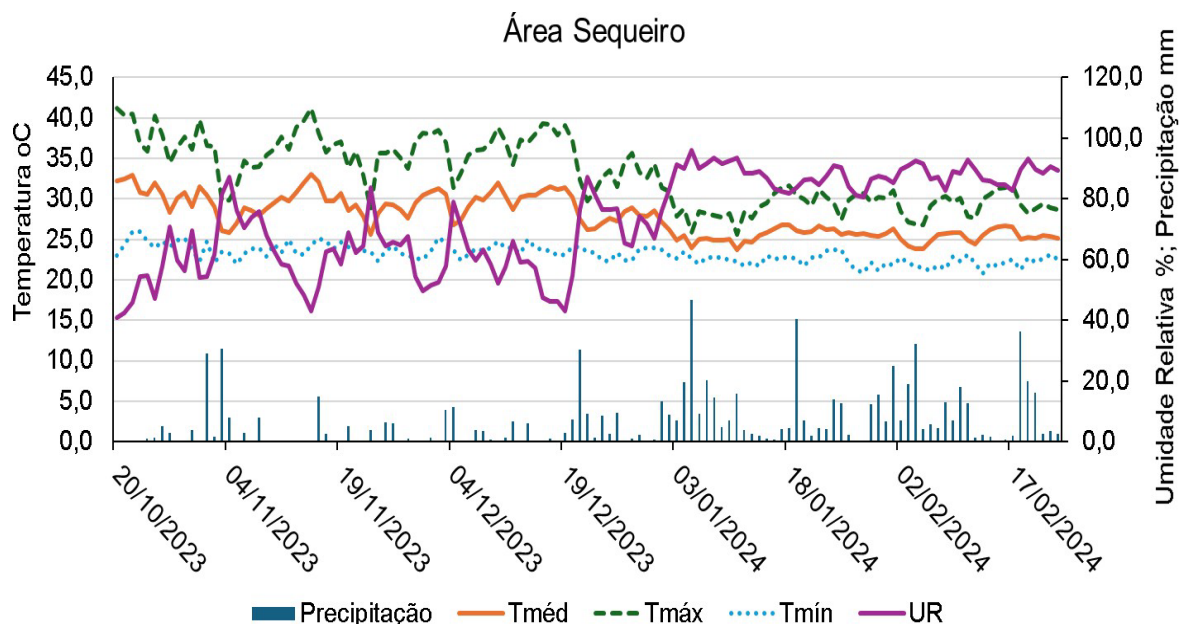
Com práticas de manejo adequadas, como a suplementação de K, controle da compactação e análises periódicas, o solo apresenta grande potencial produtivo, possibilitando práticas agrícolas eficientes e sustentáveis.

Figura 3 — Análise climática da área irrigada da safra da soja 2023/2024 entre os dias 30 de setembro de 2023 e 26 de janeiro de 2024.



Fonte: O autor.

Figura 4 — Análise climática da área sequeiro da safra da soja 2023/2024 entre os dias 20 de outubro de 2023 e 23 de fevereiro de 2024.



Fonte: O autor.

Nas áreas experimentais foram realizadas dessecações antes da semeadura, com 3 litros.  $\text{ha}^{-1}$  de glifosato, feito também no sistema plante e aplique, herbicida pré-emergente sendo, S-metalaclopro (Dual gold 1,5 litros.  $\text{ha}^{-1}$ ) e Clomazona+Carfentrazona (Profit 1,5 litros.  $\text{ha}^{-1}$ ).

Durante a semeadura das áreas foram realizadas adubação de base na linha de plantio com NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) na formulação 5-20-20, com 400 kg. ha<sup>-1</sup>. Na área irrigada havia cobertura de brachiaria e sistema de plantio direto, por ser uma área apenas para cultivo de soja. Na área experimental sequeiro era um sistema de rotação com outras culturas comerciais, o milho era antecessor a soja.

As parcelas experimentais foram semeadas utilizando uma semeadora de oito linhas, com espaçamento entre as linhas de 0,50 cm. Cada parcela foi estabelecida no campo, compreendendo oito linhas por tratamento, cada uma com 5 m de comprimento e espaçamento de um metro entre corredores, resultando em uma densidade inicial de 300 mil plantas por hectare. A avaliação do estande foi conduzida 15 dias após a semeadura.

As aplicações dos tratamentos foram iniciadas no estágio fenológico V3, utilizando um equipamento costal com cilindro de CO<sub>2</sub> e vazão de 120 L por hectare. A barra de aplicação tinha 3 m de largura, deixando uma linha de cada lado como bordadura e aplicando-se nas seis linhas centrais de cada parcela. Foi respeitado o uso obrigatório de equipamentos de proteção individual (EPIs) durante a aplicação dos produtos fitossanitários.

As doses aplicadas foram preparadas em garrafas PET (polietileno tereftalato) de 2 L, contendo 1,8 L de água, sendo numeradas de acordo com os tratamentos. As doses por aplicação variaram conforme o tratamento: **tratamento 1** (0 dose); **tratamento 2** (fonte A - AminoQuelant 5%: 1,69 litros por hectare); **tratamento 3** (AminoQuelant 5%: 2,54 litros por hectare); **tratamento 4** (AminoQuelant 5%: 3,38 litros por hectare); **tratamento 5** (fonte F - Folikel 14%: 0,68 quilogramas por hectare); **tratamento 6** (Folikel 14%: 1,03 quilogramas por hectare); **tratamento 7** (Folikel 14%: 1,36 quilogramas por hectare). Foram realizadas quatro aplicações de Cu a partir do estágio fenológico V3, proporcionando no total as doses de 0; 0,4; 0,6 e 0,8 quilos de Cu por hectare para as duas fontes.

População final (P), altura final (A), sementes por planta (SP), massa de 100 sementes (M100) e produtividade de sementes brutas (PSB) e líquidas (PSL), germinação por protrusão de raiz (GPR), comprimento total de plântulas (C) e massa seca total de plântula (MS) foram as variáveis obtidas ao longo do experimento.

A coleta dos dados foi realizada manualmente nas duas áreas: na área irrigada, colhida em janeiro, e na área de sequeiro, colhida em fevereiro. Para a avaliação da população final (P), todas as plantas das parcelas foram contabilizadas,

garantindo uma amostragem precisa da densidade populacional. A altura final (A) foi medida por meio da média das alturas de 10 plantas das linhas centrais de cada parcela, utilizando um equipamento de medição adequado.

A semente por planta (SP) foi determinada pela coleta de cinco plantas de forma sequencial nas linhas centrais de cada parcela, contabilizando-se o número de sementes por planta. O processo foi repetido para todas as parcelas, e as sementes foram posteriormente levadas para o laboratório local, onde foram pesadas e contadas todas as sementes para o cálculo da massa de 100 sementes (M100) e para estimar a produtividade de sementes brutas (PSB) de cada parcela. As amostras, devidamente identificadas e separadas em envelopes, foram então enviadas à Universidade do Oeste Paulista (Unoeste) para dar continuidade às análises laboratoriais detalhadas.

Produtividade de Sementes Líquidas (PSL) foi determinada a partir de uma amostra de aproximadamente 60 g de sementes de cada parcela, que foi peneirada para quantificar a fração que passava por uma peneira com crivo circular de 7,14 mm e a fração que ficava retida em uma peneira com crivo de 5,95 mm. O montante retido na peneira foi considerado a fração de sementes líquidas. O valor percentual da fração de sementes líquidas foi aplicado à produtividade bruta de sementes para calcular a produtividade líquida de sementes em kg por hectare, representando a fração colhida com características adequadas para uso como semente.

O teste de germinação por protrusão de raiz (GPR) foi realizado no laboratório de análise de sementes da Unoeste com a fração de sementes líquidas. Foram utilizadas quatro subamostras de 50 sementes, dispostas em substrato de papel toalha umedecido com água destilada, com uma quantidade correspondente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Os rolos de germinação foram acondicionados em sacos plásticos fechados e mantidos em germinador *Mangelsdorf*, regulado a 25°C. As leituras foram feitas aos cinco e oito dias após a semeadura, computando-se as porcentagens de sementes com protrusão de raiz primária.

Quanto ao comprimento total das plântulas (C) e à massa seca total de plântula (MS), os rolos de germinação foram preparados seguindo a mesma metodologia do teste de germinação, com a mesma fração de sementes. Foram semeadas quatro repetições de 10 sementes por rolo, e as plântulas foram mantidas nas mesmas condições de germinação. Aos cinco dias após a semeadura, as plântulas foram medidas, do ponto de inserção dos cotilédones até a ponta da raiz

principal, a fim de calcular o comprimento médio por plântula normal e por semente utilizada, expressando os resultados em  $\text{cm.plântula}^{-1}$  e  $\text{cm.semente}^{-1}$ .

As plântulas obtidas foram então acondicionadas em sacos de papel, identificadas e levadas para secagem a  $65^{\circ}\text{C}$  por 48 h, para a obtenção dos valores de massa seca. Os resultados de massa seca foram calculados com base nas plântulas normais de cada repetição e expressos em  $\text{g.plântula}^{-1}$  e  $\text{g.semente}^{-1}$ .

O experimento foi conduzido utilizando um delineamento em blocos ao acaso (DBC), com arranjo fatorial  $2 \times 4$ , abrangendo dois fatores: fontes de Cu (AminoQuelant 5% e Folikel 14%) e doses de Cu (0, 0,4, 0,6 e 0,8  $\text{kg ha}^{-1}$ ). As avaliações foram realizadas separadamente para cada uma das áreas experimentais. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F a 5% de significância. Quando identificadas diferenças significativas, as médias dos tratamentos foram comparadas utilizando teste *t* de *Student* (LSD), ao nível de 5% de significância. As análises estatísticas foram processadas por meio dos *softwares* SISVAR, AGROSTAT e Rbio.

Tabela 1 - Análise de solos.

| <b>Parâmetro</b>                        | <b>Cultivo irrigado</b> | <b>Cultivo sequeiro</b> |
|-----------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| <b>Profundidade (cm)</b>                | 0-20                    | 0-20                    |
| <b>pH</b>                               | 5,5                     | 5,4                     |
| <b>MO (dias/kg)</b>                     | 1,6                     | 1,7                     |
| <b>P (mg/dm<sup>3</sup>)</b>            | 16                      | 17                      |
| <b>K (mg/dm<sup>3</sup>)</b>            | 75                      | 78                      |
| <b>Ca (cmol/dm<sup>3</sup>)</b>         | 2,6                     | 2,5                     |
| <b>Mg (cmol/dm<sup>3</sup>)</b>         | 0,6                     | 0,6                     |
| <b>Al (cmol/dm<sup>3</sup>)</b>         | 0,1                     | 0,1                     |
| <b>H+Al (cmol/dm<sup>3</sup>)</b>       | 3,0                     | 3,1                     |
| <b>SB (cmol/dm<sup>3</sup>)</b>         | 5,1                     | 5,1                     |
| <b>CTC (cmol/dm<sup>3</sup>)</b>        | 8,2                     | 8,3                     |
| <b>V (%)</b>                            | 62,5                    | 61,4                    |
| <b>Boro (B, mg/dm<sup>3</sup>)</b>      | 0,15                    | 0,14                    |
| <b>Cobre (Cu, mg/dm<sup>3</sup>)</b>    | 0,4                     | 0,4                     |
| <b>Ferro (Fe, mg/dm<sup>3</sup>)</b>    | 0,48                    | 0,49                    |
| <b>Manganês (Mn, mg/dm<sup>3</sup>)</b> | 10,0                    | 8,2                     |
| <b>Zinco (Zn, mg/dm<sup>3</sup>)</b>    | 9,0                     | 5,1                     |
| <b>Textura (Argila, g/kg)</b>           | 470                     | 482                     |
| <b>Silte (%)</b>                        | 25                      | ns                      |
| <b>Areia (%)</b>                        | 455                     | ns                      |
| <b>Classificação</b>                    | ns                      | Argilosa                |

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 2 e 3 apresentadas refletem a influência de diferentes doses e fontes de Cu em dois sistemas de cultivo (irrigado e sequeiro) sobre vários períodos de desenvolvimento e produtividade de plantas: população final (P), altura final das plantas (A), número de sementes por planta (SP), massa de 100 sementes (M100), produtividade de sementes brutas (PSB) e produtividade de sementes líquidas (PSL).

Tabela 2 — População final (P), altura final das plantas (A) e número de sementes por planta (SP) obtidas de plantas do cultivar de soja NEO 790 que foram cultivadas com diferentes fontes e doses de Cu em ambiente irrigado e sequeiro em São Lucas do Rio Verde (MT).

| IRRIGADO                                      |           |          |           | SEQUEIRO                                      |           |           |         |
|-----------------------------------------------|-----------|----------|-----------|-----------------------------------------------|-----------|-----------|---------|
| P (pl. ha <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>        |           |          |           | P (pl. ha <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>        |           |           |         |
| Dose Cu (kg. ha <sup>-1</sup> )               | A         | F        | Média     | Dose Cu (kg. ha <sup>-1</sup> )               | A         | F         | Média   |
| 0                                             | 252000    | 252000   | 252000 ab | 0                                             | 57833     | 57833     | 57833   |
| 0,4                                           | 236000    | 233333   | 234667 b  | 0,4                                           | 60666     | 58333     | 59500   |
| 0,6                                           | 266667    | 269333   | 268000 a  | 0,6                                           | 61000     | 59666     | 60333   |
| 0,8                                           | 229333    | 268000   | 248667 ab | 0,8                                           | 64000     | 59667     | 61833   |
| Média                                         | 246000 A* | 255667 A | 250833    | Média                                         | 60875     | 58875     | 59875   |
| A (cm pl <sup>-1</sup> ) <sup>3</sup>         |           |          |           | A (cm pl <sup>-1</sup> ) <sup>4</sup>         |           |           |         |
| Dose Cu (kg. ha <sup>-1</sup> )               | A         | F        | Média     | Dose Cu (kg. ha <sup>-1</sup> )               | A         | F         | Média   |
| 0                                             | 83,85     | 83,85    | 83,85 a   | 0                                             | 93,25     | 93,25     | 93,25 a |
| 0,4                                           | 76,25     | 71,30    | 73,77 b   | 0,4                                           | 84,50     | 85,25     | 84,87 b |
| 0,6                                           | 76,90     | 71,40    | 74,15 b   | 0,6                                           | 87,50     | 83,50     | 85,50 b |
| 0,8                                           | 74,10     | 67,45    | 70,77 b   | 0,8                                           | 83,75     | 82,75     | 83,25 b |
| Média                                         | 77,77 A   | 73,50 A  | 75,64     | Média                                         | 87,25 A   | 86,19 A   | 86,72   |
| SP (sementes. pl <sup>-1</sup> ) <sup>5</sup> |           |          |           | SP (sementes. pl <sup>-1</sup> ) <sup>6</sup> |           |           |         |
| Dose Cu (kg. ha <sup>-1</sup> )               | A         | F        | Média     | Dose Cu (kg. ha <sup>-1</sup> )               | A         | F         | Média   |
| 0                                             | 86        | 86       | 86        | 0                                             | 55,85 c A | 55,85 b A | 55,85   |
| 0,4                                           | 88        | 81       | 84        | 0,4                                           | 70,25 a A | 70,00 a A | 70,12   |
| 0,6                                           | 98        | 84       | 91        | 0,6                                           | 55,05 c B | 67,95 a A | 61,50   |
| 0,8                                           | 99        | 85       | 92        | 0,8                                           | 64,15 b A | 53,50 b B | 58,82   |
| Média                                         | 84        | 93       | 88        | Média                                         | 61,32     | 61,82     | 61,57   |

Fonte: O autor.

**A** – AminoQuelant – Cu; **F** - Folikel – Cu; **pl** – planta.

\* Médias seguidas por letras maiúsculas distintas, nas linhas, indicam diferenças significativas entre fontes de Cu e minúsculas, nas colunas, indicam diferenças significativas entre doses de Cu, com 5% de significância pelo teste *t* de Student (LSD).

**1** – interação Dose x Fonte não significativa; **2** – Dose, Fonte e interação não significativa; **3** – interação Dose x Fonte não significativa; **4** – interação Dose x Fonte não significativa; **5** – Dose, Fonte e interação não significativa; **6** – interação Dose x Fonte significativa.

No sistema irrigado, a população média das plantas (Tabela 2) foi significativamente maior, variando entre 234.667 e 268.000 plantas por hectare, enquanto no sistema de sequeiro, a população foi consideravelmente menor, com

valores entre 57.833 e 61.833 plantas por hectare. Não foram observadas diferenças entre as fontes de Cu aplicadas. Entretanto, na área de sequeiro, também não houve diferença significativa entre as doses de Cu, com uma média geral de 59.875 plantas por hectare. Esse resultado pode estar relacionado ao período em que o experimento foi realizado, marcado por escassez hídrica na fase inicial da cultura (Figura 4), o que prejudicou o estabelecimento das plantas e resultou em um estande final reduzido. Lavres *et al.* (2016) destacaram que doses moderadas de Cu podem favorecer a germinação e o desenvolvimento inicial das plantas, mas ressaltaram que o estresse hídrico pode limitar essa resposta em condições de sequeiro.

A disponibilidade hídrica adequada no sistema irrigado favoreceu o crescimento uniforme das plantas, como também foi relatado por Silva *et al.* (2018), que observaram maior uniformidade no estande em sistemas irrigados devido ao controle da umidade do solo. Por outro lado, Castro; Fagan e Silva (2020) constataram que a falta de água em sistemas de sequeiro compromete a germinação e o crescimento inicial, corroborando os achados do presente estudo.

As alturas médias das plantas no sistema irrigado (Tabela 2) diminuíram com o aumento das doses de Cu, passando de 83,85 cm (sem Cu) para 70,77 cm com 0,8 kg.ha<sup>-1</sup>. No sequeiro, embora também tenha havido redução na altura, os valores foram superiores aos do sistema irrigado, variando entre 93,25 e 83,25 cm. A diferença na altura pode estar relacionada ao manejo adotado nas áreas experimentais, já que na área irrigada foi realizada sucessão soja sobre soja, enquanto na área de sequeiro houve rotação de culturas com milho e algodão, o que favorece o desenvolvimento das plantas (Ferreira; Souza; Lima, 2021). Taiz *et al.* (2024) apontam que o Cu em doses elevadas pode ter um efeito regulador sobre o crescimento vegetativo devido à interação com o metabolismo de auxinas e outros hormônios vegetais, efeito que pode ser intensificado sob condições de restrição hídrica. Porém não houve interação entre fontes e doses de Cu em nenhum dos ambientes, a testemunha foi superior nos dois sistemas.

Mesmo com as análises de solo indicando níveis adequados de nutrientes, a disponibilidade para as plantas pode variar entre os sistemas de manejo. Tanto no sistema irrigado quanto no de sequeiro, o controle sem Cu apresentou maior altura, e não foram observadas diferenças significativas entre as fontes de Cu (Tabela 2). Esses resultados sugerem que o excesso de Cu pode ter efeito inibitório sobre o

crescimento das plantas, como também observado por Cuchiara *et al.* (2015) que avaliaram as respostas fisiológicas de plantas de batata-doce (*Ipomoea batatas*) submetidas a diferentes concentrações de cobre. Os resultados mostraram que concentrações elevadas de Cu reduziram o crescimento, alteraram características morfoanatômicas e ativaram o sistema antioxidante como forma de proteção ao estresse gerado pelo excesso de cobre.

O número médio de sementes por planta (Tabela 2) foi maior no sistema irrigado, variando entre 84 e 92 sementes por planta, em comparação com o sistema de sequeiro, que apresentou valores entre 55,85 e 70,12 sementes por planta. Não houve interação no irrigado e nem diferença estatística. No sequeiro, a dose de 0,4 kg.ha<sup>-1</sup> de Cu da fonte A resultou em maior número de sementes por planta, enquanto na fonte F, as doses de 0,4 e 0,6 kg.ha<sup>-1</sup> proporcionaram o maior número de sementes por planta (70,12 sementes). Estudo de Ishka e Vatamaniuk (2020) demonstrou que a deficiência de cobre em *Arabidopsis thaliana* resultou em aumento da ramificação, atraso na floração e senescência, além de comprometer a fertilidade do gineceu.

A diferença na resposta entre as fontes de Cu indica que a solubilidade e a disponibilidade do micronutriente podem variar conforme a composição dos fertilizantes. Estudos como de Oliveira e Santos (2019) também destacam que a eficiência agrônômica de fertilizantes pode diferir em função da origem e formulação do produto, afetando a disponibilidade do Cu no solo e o desenvolvimento das plantas.

Tabela 3 — Massa de 100 sementes (M100), produtividade de sementes brutas (PSB) e produtividade de sementes líquidas (PSL) obtidas de plantas do cultivar de soja NEO 790 que foram cultivadas com diferentes fontes e doses de Cu em ambiente irrigado e sequeiro em São Lucas do Rio Verde (MT).

| IRRIGADO                                 |         |         |          | SEQUEIRO                                 |          |          |         |
|------------------------------------------|---------|---------|----------|------------------------------------------|----------|----------|---------|
| M100 (g) <sup>1</sup>                    |         |         |          | M100 (g) <sup>2</sup>                    |          |          |         |
| Dose Cu (kg. ha <sup>-1</sup> )          | A       | F       | Média    | Dose Cu (kg. ha <sup>-1</sup> )          | A        | F        | Média   |
| 0                                        | 16,70   | 16,70   | 16,70 a  | 0                                        | 11,49    | 11,49    | 11,49 a |
| 0,4                                      | 16,60   | 14,92   | 15,76 ab | 0,4                                      | 10,80    | 10,60    | 10,70 b |
| 0,6                                      | 15,67   | 14,80   | 15,24 b  | 0,6                                      | 10,57    | 10,79    | 10,68 b |
| 0,8                                      | 15,46   | 14,68   | 15,069 b | 0,8                                      | 10,83    | 10,47    | 10,65 b |
| Média                                    | 16,11 A | 15,27 A | 15,69    | Média                                    | 10,92 A  | 10,84 A  | 10,88   |
| PSB (kg. ha <sup>-1</sup> ) <sup>3</sup> |         |         |          | PSB (kg. ha <sup>-1</sup> ) <sup>4</sup> |          |          |         |
| Dose Cu (kg. ha <sup>-1</sup> )          | A       | F       | Média    | Dose Cu (kg. ha <sup>-1</sup> )          | A        | F        | Média   |
| 0                                        | 3657    | 3657    | 3657     | 0                                        | 377 b A  | 377 b A  | 377     |
| 0,4                                      | 3107    | 3137    | 3122     | 0,4                                      | 478 a A  | 453 a A  | 466     |
| 0,6                                      | 3629    | 4028    | 3829     | 0,6                                      | 374 b B  | 459 a A  | 417     |
| 0,8                                      | 3024    | 3891    | 3458     | 0,8                                      | 476 a A  | 350 b B  | 413     |
| Média                                    | 3354    | 3678    | 3516     | Média                                    | 426      | 410      | 418     |
| PSL (kg. ha <sup>-1</sup> ) <sup>5</sup> |         |         |          | PSL (kg. ha <sup>-1</sup> ) <sup>6</sup> |          |          |         |
| Dose Cu (kg. ha <sup>-1</sup> )          | A       | F       | Média    | Dose Cu (kg. ha <sup>-1</sup> )          | A        | F        | Média   |
| 0                                        | 3483    | 3483    | 3483     | 0                                        | 143 ab A | 143 ab A | 143     |
| 0,4                                      | 2888    | 2814    | 2851     | 0,4                                      | 160 ab A | 148 a A  | 154     |
| 0,6                                      | 3303    | 3456    | 3380     | 0,6                                      | 126 b A  | 152 a A  | 139     |
| 0,8                                      | 2759    | 3344    | 3052     | 0,8                                      | 171 a A  | 103 b B  | 137     |
| Média                                    | 3108    | 3274    | 3191     | Média                                    | 150      | 136      | 143     |

Fonte: O autor.

**A** – AminoQuelant – Cu; **F** – Folikel – Cu; **PSB** – todas as sementes produzidas; **PSL** – sementes maiores de 5,95 mm e menores de 7,14 mm; **pl** – planta.

\* Médias seguidas por letras maiúsculas distintas, nas linhas, indicam diferenças significativas entre fontes de Cu e minúsculas, nas colunas, indicam diferenças significativas entre doses de Cu, com 5% de significância pelo teste *t de Student* (LSD).

**1** – interação Dose x Fonte não significativa; **2** – interação Dose x Fonte não significativa; **3** – interação Dose x Fonte não significativa; **4** – interação Dose x Fonte significativa; **5** – Dose, Fonte e interação não significativa; **6** – interação Dose x Fonte significativa.

A massa de 100 sementes (Tabela 3) foi consistentemente maior no sistema irrigado, variando de 15,24 a 16,70 g, em relação ao sequeiro, que apresentou valores entre 10,65 e 11,49 g. No sistema irrigado, o controle (sem aplicação de Cu) apresentou a maior massa de sementes (16,70 g), embora não tenha diferido estatisticamente da dose de 0,4 kg ha<sup>-1</sup>. Por outro lado, no sequeiro, as doses de Cu resultaram em menor variação na massa de sementes, com a maior média observada no controle sem aplicação foliar de Cu. Esses resultados corroboram os achados de Souza (2007), que apontam que o peso das sementes é mais influenciado pelas condições de enchimento de grãos do que pelo suprimento de micronutrientes.

As condições ambientais adversas na área de sequeiro, caracterizadas por déficit hídrico desde o início do ensaio e altas temperaturas, afetaram negativamente o desenvolvimento da soja, especialmente nas fases de florescimento e enchimento de grãos. Esse cenário explica a diferença expressiva na massa de sementes entre os sistemas. Resultados, de estudos de Martins *et al.* (2020), apontam que a aplicação de micronutrientes como Cu pode auxiliar na atividade de enzimas antioxidantes (ex: superóxido dismutase), o que sugere um possível papel mitigador do cobre, embora no seu estudo, as condições ambientais tenham prevalecido sobre os benefícios do Cu.

A produtividade de sementes brutas (Tabela 3) foi significativamente superior no sistema irrigado, com médias variando de 3.122 a 3.829 kg ha<sup>-1</sup>, em contraste com o sequeiro, que apresentou valores entre 377 e 466 kg ha<sup>-1</sup>. No sequeiro, as doses de 0,4 e 0,8 kg ha<sup>-1</sup> de Cu da fonte A, e nas doses 0,4 e 0,6 da fonte F, destacaram-se, com a maior produtividade (466 kg ha<sup>-1</sup>) observada na dose de 0,6 kg ha<sup>-1</sup>. Esse padrão sugere que, embora o sistema irrigado favoreça a produtividade geral, a suplementação com Cu pode desempenhar um papel importante na mitigação dos efeitos do estresse hídrico, como indicado por Souza e Zanon (2009), que ressaltam a eficiência da aplicação de micronutrientes na melhoria da produtividade em condições adversas, desde que adaptada ao equilíbrio nutricional do solo.

A produtividade de sementes líquidas (Tabela 3) acompanhou o padrão observado na produtividade bruta, com valores mais elevados no sistema irrigado (2.851 a 3.483 kg ha<sup>-1</sup>) em comparação ao sequeiro (137 a 154 kg ha<sup>-1</sup>). Porém não houve diferença estatística entre as doses e as fontes testadas para essa variável no sistema irrigado. No sistema de sequeiro houve interação entre os fatores com a fonte A apresentando resultados semelhantes a fonte F até a dose de 0,6 e superior na dose 0,8 kg ha<sup>-1</sup>. Esse resultado sugere uma possível dose ótima para a aplicação de Cu em condições de sequeiro, alinhando-se com as conclusões de Neto e Berti (2022), que destacam o papel crucial do Cu na síntese de proteínas e no acúmulo de biomassa nos estágios iniciais de crescimento da soja.

De maneira geral, o sistema irrigado proporcionou os melhores resultados para todos os parâmetros avaliados. Contudo, a aplicação de doses moderadas de Cu (0,4 a 0,6 kg ha<sup>-1</sup>) mostrou-se benéfica em alguns aspectos no sequeiro, especialmente no número de sementes por planta e na produtividade. Esses dados

indicam que a suplementação de Cu pode ser mais crítica em condições de estresse hídrico. Enquanto que no sistema irrigado, a fertilização excessiva com Cu pode resultar em toxidez, como sugerido por Lima *et al.* (2020), que evidenciaram o risco de toxicidade de Cu em solos com alta disponibilidade hídrica. A análise estatística dos dados reforça a importância do manejo adequado de micronutrientes para maximizar a produtividade em diferentes condições ambientais.

A Tabela 4 mostra o efeito de diferentes doses e fontes de Cu na germinação, crescimento e massa seca das plântulas de soja (cultivar NEO 790) em condições de cultivo irrigado e sequeiro. As variáveis observadas incluem germinação por protrusão de raiz (GPR), comprimento total de plântulas (C), massa seca total de plântulas (MS), além de suas variações por semente.

Tabela 4 — Germinação por protrusão de raiz (GPR), Comprimento total de plântulas (C) e Massa seca total de plântula (MS) obtidas de sementes cujas plantas-mães do cultivar de soja NEO 790 foram cultivadas com diferentes fontes e doses de Cu em ambiente irrigado e sequeiro em São Lucas do Rio Verde (MT).

| IRRIGADO                                     |           |           |        | SEQUEIRO                                     |        |        |        |
|----------------------------------------------|-----------|-----------|--------|----------------------------------------------|--------|--------|--------|
| GPR (%) <sup>1</sup>                         |           |           |        | GPR (%) <sup>2</sup>                         |        |        |        |
| Dose Cu (kg. ha <sup>-1</sup> )              | A         | F         | Média  | Dose Cu (kg. ha <sup>-1</sup> )              | A      | F      | Média  |
| 0                                            | 69 a A*   | 69 b A    | 69     | 0                                            | 83     | 83     | 83     |
| 0,4                                          | 40 c B    | 62 b A    | 51     | 0,4                                          | 87     | 89     | 88     |
| 0,6                                          | 60 ab A   | 58 b A    | 59     | 0,6                                          | 85     | 87     | 86     |
| 0,8                                          | 47 bc B   | 82 a A    | 64     | 0,8                                          | 87     | 87     | 87     |
| Média                                        | 54        | 67        | 61     | Média                                        | 86     | 87     | 86     |
| C (cm. plântula <sup>-1</sup> ) <sup>3</sup> |           |           |        | C (cm. plântula <sup>-1</sup> ) <sup>4</sup> |        |        |        |
| Dose Cu (kg. ha <sup>-1</sup> )              | A         | F         | Média  | Dose Cu (kg. ha <sup>-1</sup> )              | A      | F      | Média  |
| 0                                            | 3,37 ab A | 3,37 b A  | 3,37   | 0                                            | 9,95   | 9,95   | 9,95   |
| 0,4                                          | 2,21 b A  | 5,52 ab A | 3,87   | 0,4                                          | 12,62  | 13,06  | 12,84  |
| 0,6                                          | 6,04 a A  | 3,08 b A  | 4,56   | 0,6                                          | 12,53  | 8,85   | 10,69  |
| 0,8                                          | 4,32 ab A | 6,71 a A  | 5,51   | 0,8                                          | 12,88  | 9,25   | 11,06  |
| Média                                        | 3,98      | 4,67      | 4,33   | Média                                        | 12,00  | 10,28  | 11,14  |
| C (cm. semente <sup>-1</sup> ) <sup>5</sup>  |           |           |        | C (cm. semente <sup>-1</sup> ) <sup>6</sup>  |        |        |        |
| Dose Cu (kg. ha <sup>-1</sup> )              | A         | F         | Média  | Dose Cu (kg. ha <sup>-1</sup> )              | A      | F      | Média  |
| 0                                            | 1,43      | 1,43      | 1,43   | 0                                            | 6,83   | 6,83   | 6,83   |
| 0,4                                          | 0,60      | 1,83      | 1,71   | 0,4                                          | 9,81   | 5,63   | 7,72   |
| 0,6                                          | 2,01      | 2,81      | 1,92   | 0,6                                          | 7,22   | 3,54   | 5,38   |
| 0,8                                          | 2,33      | 3,12      | 2,72   | 0,8                                          | 8,39   | 6,43   | 7,41   |
| Média                                        | 1,59      | 2,30      | 1,94   | Média                                        | 8,06   | 5,61   | 6,83   |
| MS (g. plântula <sup>-1</sup> ) <sup>7</sup> |           |           |        | MS (g. plântula <sup>-1</sup> ) <sup>8</sup> |        |        |        |
| Dose Cu (kg. ha <sup>-1</sup> )              | A         | F         | Média  | Dose Cu (kg. ha <sup>-1</sup> )              | A      | F      | Média  |
| 0                                            | 0,0062    | 0,0062    | 0,0062 | 0                                            | 0,0130 | 0,0130 | 0,0130 |
| 0,4                                          | 0,0039    | 0,0104    | 0,0072 | 0,4                                          | 0,0146 | 0,0138 | 0,0142 |
| 0,6                                          | 0,0087    | 0,0049    | 0,0068 | 0,6                                          | 0,0133 | 0,0187 | 0,0160 |
| 0,8                                          | 0,0111    | 0,0269    | 0,0190 | 0,8                                          | 0,0154 | 0,0121 | 0,0138 |
| Média                                        | 0,0075    | 0,0121    | 0,0098 | Média                                        | 0,0141 | 0,0144 | 0,0142 |
| MS (g. semente <sup>-1</sup> ) <sup>9</sup>  |           |           |        | MS (g. semente <sup>-1</sup> ) <sup>10</sup> |        |        |        |

| Dose Cu<br>(kg. ha <sup>-1</sup> ) | A      | F      | Média  | Dose Cu<br>(kg. ha <sup>-1</sup> ) | A        | F        | Média     |
|------------------------------------|--------|--------|--------|------------------------------------|----------|----------|-----------|
| 0                                  | 0,0018 | 0,0018 | 0,0018 | 0                                  | 0,0084   | 0,0084   | 0,0084 ab |
| 0,4                                | 0,0011 | 0,0037 | 0,0024 | 0,4                                | 0,0070   | 0,0066   | 0,0068 b  |
| 0,6                                | 0,0017 | 0,0019 | 0,0018 | 0,6                                | 0,0074   | 0,0075   | 0,0074 ab |
| 0,8                                | 0,0031 | 0,0052 | 0,0041 | 0,8                                | 0,0101   | 0,0085   | 0,0093 a  |
| Média                              | 0,0019 | 0,0031 | 0,0025 | Média                              | 0,0083 A | 0,0077 A | 0,0080    |

Fonte: O autor.

**A** – AminoQuelant – Cu; **F** – Folikel – Cu

\* Médias seguidas por letras maiúsculas distintas, nas linhas, indicam diferenças significativas entre fontes de Cu e minúsculas, nas colunas, indicam diferenças significativas entre doses de Cu com 5% de significância pelo teste *t de Student* (LSD).

**1** – interação Dose x Fonte significativa; **2** – Dose, Fonte e interação não significativa; **3** – interação Dose x Fonte significativa; **4** – Dose, Fonte e interação não significativa; **5** – Dose, Fonte e interação não significativa; **6** – Dose, Fonte e interação não significativa; **7** – Dose, Fonte e interação não significativa; **8** – Dose, Fonte e interação não significativa; **9** – Dose, Fonte e interação não significativa; **10** – interação Dose x Fonte não significativa.

Em relação à germinação por protrusão de raiz (GPR) (Tabela 4), o sistema irrigado apresentou menor taxa de germinação, variando entre 40% e 82%, com média de 61%. No sequeiro, a taxa foi mais elevada, entre 83% e 89%, com média de 86%. A fonte F obteve os melhores resultados na dose de 0,8 kg ha<sup>-1</sup> de Cu, enquanto a fonte A apresentou menor efeito. Esse padrão sugere que o ambiente de sequeiro favoreceu a germinação, independentemente da suplementação de Cu, uma vez que não houve chuva pré-coheita (Figura 3).

Na área irrigada houve ocorrência de chuva comprometendo a qualidade fisiológica das sementes em detrimento da maior produtividade e massa das sementes colhidas na área irrigada. Estudos de Adrees *et al.* (2015) indicaram que o Cu é essencial para atividades enzimáticas relacionadas à germinação, mas doses elevadas podem ser tóxicas, comprometendo a eficiência germinativa, o que é consistente com a diferença observada em doses menores no ambiente irrigado. Por outro lado, esse resultado mostra o quanto as condições climáticas são determinantes sobre a qualidade fisiológica, suplantando variáveis com massa das sementes e produtividade.

O comprimento total das plântulas (C) (Tabela 4) variou entre os sistemas de cultivo. No irrigado, o comprimento das plântulas foi menor, variando de 2,21 a 6,71 cm, com média de 4,33 cm, destacando-se as doses de 0,6 e 0,8 kg ha<sup>-1</sup> com a fonte F. No sequeiro, as plântulas apresentaram comprimentos maiores, variando de 9,95 a 13,06 cm, com média de 11,14 cm, com os melhores resultados nas doses de 0,4 e 0,8 kg ha<sup>-1</sup>. Isso indica que, enquanto o sequeiro favorece o crescimento das plântulas, na condição irrigada, doses mais altas de Cu, especialmente com a fonte

F, podem ser eficazes no desenvolvimento inicial. Taiz *et al.* (2024) explicam que a disponibilidade de Cu no solo pode influenciar o desenvolvimento das plântulas, especialmente em condições de menor umidade, devido à maior concentração de nutrientes resultante da menor lixiviação.

A baixa qualidade das sementes no sistema irrigado é atribuída ao dano por umidade, especialmente devido à precipitação antes da colheita (Figura 3). A umidade excessiva favorece doenças fúngicas, como a podridão das sementes, comprometendo a viabilidade e vigor das mesmas. Estudos de Smith (2017) indicam que a soja é particularmente vulnerável a essas condições, o que reduz sua capacidade germinativa. Em sistemas de sequeiro, onde a umidade é mais controlada, observa-se uma melhor qualidade fisiológica das sementes, reforçando a importância da gestão hídrica na fase final do ciclo produtivo.

A massa seca total das plântulas (MS) (Tabela 4) foi menor no sistema irrigado, variando entre 0,0062 e 0,0269 g plântula<sup>-1</sup>, enquanto no sequeiro os valores foram superiores, variando de 0,0130 a 0,0187 g plântula<sup>-1</sup>, sem diferença significativa para essa variável. No irrigado, a dose de 0,8 kg ha<sup>-1</sup> com a fonte F apresentou o maior valor (0,0269 g), indicando que doses mais altas de Cu são importantes para aumentar a biomassa das plântulas. Em sequeiro, a dose de 0,6 kg ha<sup>-1</sup> na fonte F foi mais eficaz. Esses achados reforçam os estudos de Soares *et al.* (2015), que associam níveis adequados de Cu ao fortalecimento das sementes, especialmente em ambientes de maior estresse hídrico devido à sua função antioxidante.

A aplicação de doses moderadas de Cu (0,4 a 0,6 kg ha<sup>-1</sup>) foi benéfica no sequeiro, especialmente no número de sementes por planta e na produtividade. Esses dados indicam que a suplementação de Cu pode ser crucial em condições de estresse hídrico, enquanto no sistema irrigado, a fertilização excessiva com Cu pode resultar em toxicidade, conforme sugerido por Lima *et al.* (2020), que destacam o risco de toxicidade de Cu em solos com alta disponibilidade hídrica. A análise estatística reforça a importância do manejo adequado de micronutrientes para maximizar a produtividade em diferentes condições ambientais.

Em conclusão, a análise comparativa dos efeitos da aplicação de Cu nas sementes de soja revela que a intervenção tem impactos distintos dependendo das condições ambientais, especialmente em cenários de estresse hídrico. O Cu tem papel essencial no desenvolvimento inicial das plantas, mas sua aplicação excessiva

em ambientes irrigados pode prejudicar o desempenho da soja. Karimi *et al.* (2021) ressaltam a importância do Cu nos processos fisiológicos das plantas, como o crescimento inicial, e sua interação com variáveis ambientais. Já os resultados de Moreira *et al.* (2019) indicam um efeito positivo da fertilização com Cu em solos ricos em matéria orgânica, com aumento no rendimento de grãos e peso seco da parte aérea.

A resposta das plantas ao Cu depende não apenas da dose aplicada, mas também das condições ambientais e do manejo do solo. Essas variações reforçam a complexidade da interação entre nutrientes e fatores externos, como observado por Gomes (2019) e Loreto *et al.* (2022), que relatam alterações morfológicas em resposta ao excesso de Cu. A interação entre a dose de Cu e as condições ambientais deve ser cuidadosamente monitorada para otimizar os resultados em diferentes cenários de cultivo.

## 6 CONCLUSÃO

As condições climáticas atípicas da safra 2023/2024 dificultaram a obtenção de resultados consistentes. Em muitos casos, os melhores desempenhos foram observados no controle e no tratamento com a dose de 0,4 kg.ha<sup>-1</sup> para ambas as fontes, sugerindo que, em anos com condições climáticas semelhantes e sem deficiência nutricional no solo, pode não ser necessário o uso de doses complementares de Cu. Em suma, esses resultados reforçam a necessidade de estudos mais detalhados para confirmar os benefícios do uso de Cu na soja em diferentes cenários climáticos e de manejo.

## REFERÊNCIAS

- ABBAS, S.; AMNA; JAVED, M. T.; ALI, Q.; AZEEM, M.; ALI, S. Nutrient deficiency stress and relation with plant growth and development. *In*: FAHAD, Shah; SÖNMEZ, Osman; SAUD, Shah; WANG, Depeng; WU, Chao; ADNAN, Muhammad; ARIF, Muhammad; AMANULLAH (org.). **Engineering tolerance in crop plants against abiotic stress**. Boca Raton: CRC Press, 2022. p. 239–262.
- ADREES, M.; ALI, S.; RIZWAN, M.; IBRAHIM, M.; ABBAS, F.; FARID, M.; 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, p. 8148–8162, 2015. DOI: 10.1007/s11356-015-4496-5.
- AGRIGENTO. **Informações técnicas sobre Cu-EDTA**. 2023. Disponível em: <https://www.agrigento.com.br>. Acesso em: 27 set. 2024.
- ALLOWAY, B. J. Sources of heavy metals and metalloids in soils. *In*: ALLOWAY, B. J. (ed.). **Heavy metals in soils**. Dordrecht: Springer, 2013. (Environmental Pollution, v. 22). DOI: 10.1007/978-94-007-4470-7\_2.
- ANDERSON, E.; ALI, L.; BEAVIS, W. D.; CHEN, P.; CLEMENTE, T. E.; DIERS, G. L. G.; GRASSINI, P.; HYTEN, D. L.; MCHALE, L. K.; NELSON, R. L.; PARROTT, W. A.; PATIL, G. B.; STUPAR, R. M.; TILMON, K. J. Soybean [Glycine max (L.) Merr.] breeding: history, improvement, production and future opportunities. *In*: AL-KHAYRI, J.; JAIN, S.; JOHNSON, D. (ed.). **Advances in plant breeding strategies: legumes**. Cham: Springer, 2019. v. 7, p. 431–516. DOI: 10.1007/978-3-030-23400-3\_12.
- AMARO, H. T. R.; COSTA, R. C.; PORTO, E. M. V.; ARAUJO, E. C. M.; FERNANDES, H. M. F. Tratamento de sementes com produtos à base de fertilizantes e reguladores de crescimento. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 26, n. 1, p. 222-242, 2020. DOI: 10.36812/pag.2020261222-242.
- ARNON, D. I.; STOUT, P. R. A. Essencialidade de certos elementos em quantidade mínima para plantas com referência especial ao cobre. **Plant physiology**, v. 14, n. 2, p. 371, 1939. DOI: 10.1104/pp.14.2.371.
- ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE SOJA E MILHO DO ESTADO DE MATO GROSSO. **A história da soja**. 2023. Disponível em: <http://www.aprosoja.com.br/soja-e-milho/a-historia-da-soja>. Acesso em: 15 abr. 2024
- BABCOCK, B. A.; BARR, K.; CARRIQUIRY, M.; NASSAR, A. M.; HARRI, A. Soybean markets and cash prices. *In*: BABCOCK, B. A. (ed.). **The economics of soybean value chain**. Cham: Springer, 2019. p. 15–38.
- BALEN, A. B.; LANGE, A.; CAVALLI, E.; SANTOS, P. H.; CAVALLI, C. Aplicação de fertilizante foliar na cultura da soja. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. **Anais** [...]. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. Disponível em: <https://www.sbcs.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/341.pdf>. Acesso em: 14 maio 2024.

BIOQUALITA. **Tecnologia de aminoácidos na nutrição vegetal**. 2023. Disponível em: <https://www.bioqualita.com.br>. Acesso em: 14 maio 2024.

BLACK, R. J. Complexo soja: fundamentos, situação atual e perspectiva. *In*: CÂMARA, G. M. S. (ed.). **Soja: tecnologia de produção II**. Piracicaba: ESALQ, p.1-18, 2000.

BOARETTO, A. E.; LAVRES JUNIOR, J.; ABREU-JÚNIOR, C. H. Os desafios da nutrição mineral de plantas. *In*: PRADO, R. M.; WADT, P. G. S. **Nutrição e adubação de espécies florestais e palmeiras**. Jaboticabal: FCAV/CAPES, p. 27-53, 2014.

BOAS PRÁTICAS AGRONÔMICAS. **Irrigação, uma prática que aumenta a produtividade no campo**. 2019. Disponível em: <https://boaspraticasagronicas.com.br/boas-praticas/irrigacao/>. Acesso em: 25 abr. 2024.

BORGES, A. L. (ed.). **Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá**. Brasília, DF : Embrapa, 2021. 303 p.

BORKERT, C. M.; SFREDO, G. J.; MISSIO, S. L. S. **Soja: adubação foliar**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1987. 34p. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 22).

BOSCHIERO, B. N. Produção de milho no Brasil: números, desafios, oportunidades e inovações. **Agroadvance**. Piracicaba, 31 jul. 2024. Disponível em: [https://agroadvance.com.br/blog-producao-de-milho-no-brasil/?utm\\_source=direct&utm\\_medium=\(none\)&utm\\_campaign=&utm\\_content=blog&utm\\_term=](https://agroadvance.com.br/blog-producao-de-milho-no-brasil/?utm_source=direct&utm_medium=(none)&utm_campaign=&utm_content=blog&utm_term=). Acesso em: 27 set. 2024.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 685 p.

CANCIAN, M. **Aplicação de cobre na cultura da soja em solos com altos teores de fósforo**. 2018. 76 f. Dissertação (Mestre em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/13823>. Acesso em: 14 maio 2025.

CASTRO, A. P.; FAGAN, E. M.; SILVA, A. R. Efeito da disponibilidade hídrica no crescimento e desenvolvimento da soja em sistema de sequeiro e irrigado. **Revista Brasileira de Agricultura**, v. 44, n.1, p. 100-110. 2020.

CAVALCANTE, U. M. T.; OLIVEIRA, F. C. **Fisiologia da Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa, MG: UFV, 2016.

CUCHIARA, C.C.; WINHELMANN, M. C.; LARRÉ, C. F.; FERNANDO, J. A.; BRAGA, E. J. B.; PETERS, J. A. Physiological responses of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) plants due to different copper concentrations. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 6, Supl. 2, p. 4165–4176, 2015. DOI: 10.5433/1679-0359.2015v36n6Supl2p4165.

CULBERTSON, E. M.; CULOTTA, V. C. Copper in infectious disease: using both sides of the penny. **Seminars in Cell & Developmental Biology**, v. 115, p. 19-26, 2021. DOI: 10.1016/j.semcd.2020.12.003.

DALL'AGNOL, A. **A Embrapa Soja no contexto do desenvolvimento da soja no Brasil: histórico e contribuições**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. 71 p.

DEPEW, E. J.; RICHARDS, J. H.; SMITH, A. B.; JOHNSON, C. D. Advances in foliar fertilization technology: implications for crop management. **Field Crops Research**, v. 248, 107694, 2020. DOI: 10.1016/j.fcr.2020.107694.

EMBRAPA SOJA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Brasil). **A soja no Brasil**. Londrina: Embrapa, 2015. Disponível em: [http://www.cnpso.embrapa.br/producao\\_soja/SojanoBrasil.htm](http://www.cnpso.embrapa.br/producao_soja/SojanoBrasil.htm). Acesso em: 23 maio 2023.

EMBRAPA. **Manual do cultivo da soja**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2021

EMBRAPA. Embrapa Soja. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil 2014**. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 265 p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 16).

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 347 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/216580/1/SP-17-2020-online.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2023.

EMBRAPA. **Brasil lidera e é referência no desenvolvimento de tecnologias sustentáveis para produção de soja**. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/81613580/brasil-e-referencia-no-desenvolvimento-de-tecnologias-sustentaveis-para-producao-de-soja>. Acesso em: 25 abr. 2023

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 12 p. (Special Report, 80).

FERNANDES, A. R.; ROSSI, C. Impacto do excesso de cobre em culturas agrícolas e estratégias de mitigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. e0160422, 2017.

FERNÁNDEZ, V.; SOTIROPOULOS, T.; BROWN, P. **Adubação foliar: fundamentos científicos e técnicas de campo**. São Paulo: Abisolo, 2015.

FERREIRA, M. S.; SOUZA, R. F.; LIMA, P. R. Efeito da aplicação foliar de cobre na produtividade da soja. **Revista Brasileira de Agricultura**, v. 96, n. 3, p. 215-223. 2021.

GOMES, D. G. Respostas morfofisiológicas e bioquímicas de plantas de soja ao acréscimo de cobre no solo: efeito de doadores de óxido nítrico livre e nanoencapsulado. 2019. 102 f.: il. Dissertação (Mestrado em Agronomia) –

Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

GOMES, H. H. S.; SMIDERLE, O. J.; MENEZES, P. H. S. de; GIANLUPI, V.; MARQUES, C. S. Características agronômicas na produtividade da soja em diferentes densidades de plantas. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRONOMIA, 30., 2017, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: AEAC: CONFAEAB, 2017. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1085363/1/738.pdf>. Acesso em: 15 maio 2023.

GONÇALVES, F. A. R.; XAVIER, F. O.; OLIVEIRA, T. F.; GODINHO JÚNIOR, J. D. D.; AQUINO, L. A. Aplicação foliar de doses e fontes de cobre e manganês nos teores foliares destes micronutrientes e na produtividade da soja. **Revista Cultura Agronômica**, v. 26, n. 3, p. 384-392, 2017. DOI: 10.32929/2446-8355.2017v26n3p384-392.

HANSEL, F. D.; OLIVEIRA, M. L. Importância dos micronutrientes na cultura da soja no Brasil. **Informações Agronômicas**, v. 153, p. 1-14, 2016.

ISHKA, M. R.; VATAMANIUK, O. K. A deficiência de cobre altera a arquitetura do broto e reduz a fertilidade do gineceu e do androceu em *Arabidopsis thaliana*. **Plant Direct**, v. 4, n. 11. 2020. DOI: 10.1002/pld3.288.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2011.

KHALIL, A.; MIR, M.; MIR, M. M.; IQBAL, U.; NAZIR, N.; REHMAN, M. U.; SHARMA, M. K.; PANDIT, A. H.; BHAT, R.; MIR, M. A. Mineral nutrition. *In*: KHALIL, A.; MIR, M. M.; MIR, M. A. (ed.). **Temperate nuts**. Singapore: Springer, 2023. p. 171–186. DOI: 10.1007/978-981-19-9497-5\_7.

KARIMI, B.; MASSON, V.; GUILLAND, C.; LEROY, E.; PELLEGRINELLI, S.; GIBOULOT, E.; MARON, P. A.; RANJARD, L. Ecotoxicity of copper input and accumulation for soil biodiversity in vineyards. **Environmental Chemistry Letters**, v. 19, n. 3, p. 2013–2030, 2021. DOI: 10.1007/s10311-020-01155-x.

KIRKBY, E. A. Introduction, definition and classification of nutrients. *In*: MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of plants**. 4. ed. Amsterdam: Elsevier, 2022. cap. 1, p. 3–9. DOI: 10.1016/B978-0-12-819773-8.00016-2.

KIIHL, R. **Entrevista com Romeu Kiihl**. [dez. 2022]. Entrevistador Alcides Carvalho. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=WAHfp3hm7bU>. Acesso em: 22 maio 2024.

KUMAR, S.; KUMAR, S.; MOHAPATRA, T. Interaction between macro-and micro-nutrients in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 665583, 2021. DOI: 10.3389/fpls.2021.665583.

LAMBERS, H. Nutrient-use efficiency. *In*: RENGEL, Z. (ed.). **Marschner's mineral nutrition of plants**. 4. ed. Amsterdam: Elsevier, 2023. cap. 17, p. 651–664. DOI:

10.1016/B978-0-12-819773-8.00017-1.

LAVRES JUNIOR, J.; RODRIGUES, J. L.; MORETTI, B. S.; CABRAL, C. P.; SOUZA, L. R. Fertilização foliar: Mecanismos e aplicações no manejo de nutrientes para culturas. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 180, n. 4, p. 433–446, 2017. DOI: 10.1002/jpln.201600466.

LIGNOKEL. **Quelatos e micronutrientes**. 2023. Disponível em: <https://www.lignokel.com>. Acesso em: 18 abr. 2023.

LIMA, D. H. M. **Teste de plantabilidade com diferentes discos alveolados e a influência da velocidade na semeadura da soja**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) — Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, 2021.

LIMA, J. A.; COSTA, P. L. Tratamento de sementes com cobre na cultura da soja. **Ciência Rural**, v. 50, n. 4, p. 789-794. 2020. DOI: 10.1590/1678-4499.20200056.

LORETO, R. B.; FAVORETO, L.; PIRES, T. D.; MOREIRA, A.; MEYER, M. C. Influência do cobre na nutrição da soja, sobre a severidade de sintomas causados por *Aphelenchoides besseyi*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 9., 2022, Foz do Iguaçu, PR. **Resumos** [...]. DF: Embrapa, 2022. p. 133.

MACHADO, M. F. **Grupo Caramuru Alimentos S.A., em Itumbiara/Goiás: das interações socioeconômicas ambientais**. 2018. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Sociedade) – Universidade Estadual de Goiás, Câmpus Sudeste – Sede: Morrinhos, Morrinhos-GO, 2018

MANGENA, P. Impact of Polyploidy Induction for Salinity Stress Mitigation in Soybean (*Glycine max* L. Merrill). **Plants**, v. 12, n. 6, p. 1356, 2023. DOI: 10.3390/plants12061356.

MARSCHNER, P. **Nutrição mineral de Marschner de plantas superiores**. 3. ed. Londres: Imprensa Acadêmica, 2012. 649 p.

MARTINS, P. D. S.; CARMO, E. L.; SILVA, A. G.; PROCÓPIO, S. O.; SIMON, G. A.; ANDRADE, C. L. L. Desempenho de cultivar de soja de crescimento determinado em diferentes arranjos espaciais. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n. 5, p. 47–56, 2020.

MASCARENHAS, H. A. A.; ESTEVES, J. A. F.; WUTKE, E. B.; RECO, P. C.; LEÃO, P. C. L. Deficiência e toxicidade visuais de nutrientes em soja. **Nucleus**, v. 10, n. 2, p. 281–306, 2013. DOI: 10.3738/1982.2278.974.

MELO, E. B.; BARROS, L. N.; SOUZA, L. K. R.; MELO, L. O.; GONÇALVES, R. M. O.; BORGES, D. C. S. A importância da agricultura para a sociedade: breve revisão de literatura. **Scientia Generalis**, v. 2, supl. 1, p. 144, 2022.

MENDES, A. M. S. Introdução a fertilidade do solo. In: CURSO DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 2007, Barreiras. **Palestras** [...]. Barreiras: MAPA; SFA-BA: Embrapa Semi-Árido; Embrapa Solos - UEP Recife, 2007.

MILIOLI, A. S.; MEIRA, D.; PANHO, M. C.; MADELLA, L. A.; WOYANN, L. G.; TODESCHINI, M. H.; ZDZIARSKI, A. D.; CAMPAGNOLLI, O. R.; MENEGAZZI, C. P.; COLONELLI, L. L.; FERNANDES, R. A. T.; MELO, C. L. P.; OLIVEIRA, M. F.; BERTAGNOLLI, P. F.; ARIAS, C. A. A.; GIASSON, N. F.; MATSUMOTO, M. N.; QUIROGA, M.; SILVA, R. R.; BERTAN, I.; CAPELIN, M. A.; MATEI, G.; BENIN, G. Melhoramento genético da soja no Brasil: regiões Sul e Centro-Oeste. **Crop Science**, v. 62, n. 6, p. 22726–2293, 2022. DOI: 10.1002/csc2.20820.

MIR, A. R.; PICHTEL, J.; HAYAT, S. Copper: uptake, toxicity and tolerance in plants and management of Cu-contaminated soil. **BioMetals**, v. 34, p. 737–759, 2021. DOI: 10.1007/s10534-021-00306-z.

MOCELLIN, R. S. P. **Princípios da adubação foliar**. Canoas: Fertilizantes Omega Ltda, 2004.

MONTANARI, R.; MÁRIO, N. E.; QUEIROZ, H. A. Variabilidade espacial de atributos físicos num latossolo vermelho sob plantio direto com rotação de culturas. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 12, p. e8149, 2024. DOI: 10.55905/oelv22n12-085.

MOREIRA, A. et al. Copper use efficiency in soybean cultivars. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, p. e01140, 2019. DOI: 10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.01140.

MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C.; NOGUEIRA, T. A. R.; CANIZELLA, B. T. Eficiência de uso de cobre em cultivares de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, e01140, 2019. DOI: 10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.01140.

MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C.; SCHROTH, G. Copper fertilization in soybean–wheat intercropping under no–till management. **Soil and Tillage Research**, v. 193, p. 133–141, 2019. DOI: 10.1016/j.still.2019.06.001

MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C.; MELO, T. R.; HEINRICHS, R.; MORETTI, L. G. Management of copper for crop production. **Advances in Agronomy**, v. 173, p. 263–307, 2022. DOI: 10.1016/bs.agron.2022.02.005.

NACHTIGALL, G. R.; NAVA, G. Adubação foliar: fatos e mitos. **Agropecuária Catarinense**, v. 23, n. 2, p. 87–97, 2010. Suplemento. Artigo apresentado no 9º Seminário Nacional sobre Fruticultura de Clima Temperado, São Joaquim, SC, de 22 a 24 de junho de 2010.

NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; MERTZ-HENNING, L. M.; FOLONI, J. S. S.; MORAES, L. A. C.; GONCALVES, S. L. Ecofisiologia da soja. In: SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. de C. (ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 17). p. 33–54.

NUNES, J. L. S. Produção de sementes. **Agrolink**. 12 set. 2016. Disponível em: [https://www.agrolink.com.br/sementes/tecnologia-sementes/producao\\_361335.html](https://www.agrolink.com.br/sementes/tecnologia-sementes/producao_361335.html). Acesso em: 16 maio 2023.

OLIVEIRA, G. R.; SANTOS, M. T. Adubação com micronutrientes na soja: uma revisão. **Revista Científica de Agronomia**, v. 44, n. 2, p. 105-113. 2019.

OLIVEIRA JUNIOR, A.; CASTRO, C.; PEREIRA, L. R.; DOMINGOS, C. S. **Estádios fenológicos e marcha de absorção de nutrientes da soja**. Paçandu: Fortgreen; Londrina: Embrapa Soja, 2016.

PAGANI, E. Eficácia da fertilização foliar em culturas agrônômicas: Uma revisão. **Revista Gestão Agrícola de Água**, v. 232, p. 106036. 2020.

PAGE, E. C.. **Histórico do mercado de sementes de soja da C. Vale**. 2017. 74 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, A. M. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória: Incaper, 2013. 104 p.

QUIRINO, A. S.; RIBEIRO, V. O.; SILVA, D. V. Adubação foliar na cultura da soja. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 12, n. 1, 2023.

REETZ, H. F. **Fertilizantes e o seu uso eficiente**. Tradução: Alfredo Scheid Lopes São Paulo: ANDA, 2017.

REUTERS, P. W. Área de soja do Brasil deve crescer 2,6%, para 42,88 milhões de hectares. Revista Forbes, 2022. Disponível em: <https://forbes.com.br/negocios/2022/07/area-de-soja-do-brasil-deve-crescer-26-para-4288-milhoes-de-hectares/>. Acesso em: 16 maio 2024.

RUFFO, R. V. **Tratamento de sementes de soja com cobre-polifenólico**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Chapadão do Sul, Chapadão do Sul, 2023.

SANTOS, T. B.; RIBAS, A. F.; SOUZA, S. G. H.; BUDZINSKI, I. G. F.; DOMINGUES, D. S. Respostas fisiológicas à seca, salinidade e estresse térmico em plantas: uma revisão. **Stresses**, v. 2, n. 1, p. 113-135, 2022. DOI: 10.3390/stresses2010009

SCHNEIDER, F.; PEREIRA, J. L.; COSTA, P. M. D.; ZUFFO, A. M. Efeitos de diferentes doses de fertilizantes foliar de cobre na produtividade e na qualidade de sementes de soja. **Boletim de Indústria Animal**, v. 77, n. 4, p. 1–10.

SILVA, M. A. Efeitos da irrigação na germinação e desenvolvimento inicial da soja. **Agronomy Journal**, v.110, p.2120-2130, 2018.

SILVA, R. L.; SOUZA, M. T.; ALMEIDA, F. L. Comparação entre sistemas irrigados e sequeiro no desenvolvimento de plântulas de soja. **Agronomia Brasileira**, v. 36, n. 3, p. 210–218, 2018.

SILVA, D. F.; RODRIGUES, A. M. B.; PEREIRA, D. M. C.; SILVA, G. M.; SILVA, E. F. C. Efeito da aplicação de cobre no rendimento e qualidade da soja cultivada em

solo com baixos níveis de cobre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, n. 1, 2019.

SILVA, L. C.; PEREIRA, J. R.; MARTINS, F. A. Deficiência de cobre e seus efeitos na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 55, n. 6, p. 543–550, 2020.

SILVA, C. S. **Revisão sistemática sobre melhoramento genético em soja para cultivo em terras baixas**: traço longo juvenil como chave de discussão. 2022. 31 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Federal do Pampa, Itaqui, 2021.

SILVA, F.; BORÉM, A.; SEDIYAMA, T.; CÂMARA, G. **Soja**: do plantio à colheita. São Paulo: Oficina de Textos, 2022.

SILVA, F. R.; SILVA, L. S.; OLIVEIRA, J. M.; REZENDE, A. M. Efeito da aplicação foliar de cobre na produtividade da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 47, p. e023021, 2023.

SILVA, G. F.; CHAMMA, L.; LUPERINI, B. C. O.; CHAVES, P. P. N.; CALONEGO, J. C.; NAKAGAWA, J.; SILVA, E. A. A. Physiological quality of soybean seeds as a function of soil management systems and pre-harvest desiccation. **Agronomy**, v. 13, n. 3, p. 847, 2023. DOI: 10.3390/agronomy13030847.

SMITH, S. A. Seed deterioration under moisture stress conditions. **Seed Science Research**, v. 27, p. 34-45, 2017.

SOARES, M. M., SANTOS JUNIOR, H. C. D., SIMÕES, M. G., PAZZIN, D., SILVA, L. J. D. Estresse hídrico e salino em sementes de soja classificadas em diferentes tamanhos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 2015. 45, 370-378. DOI: 10.1590/1983-40632015v4535357.

SOARES, R. M.; GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D. S.; COSTAMILAN, L. M.; MEYER, M. C.; HENNING, A. A.; ALMEIDA, A. M. R.; YORINORI, J. T.; FERREIRA, L. P.; DIAS, W. P. **Manual de identificação de doenças de soja**. 6. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2023. 79 p. (Embrapa Soja. Documentos, 256).

SOUZA, L. C. D. **Efeito da aplicação de fertilizante mineral via foliar sobre a produção e qualidade fisiológica de sementes de soja**. 2007. 51 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Sistemas de Produção) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, SP, 2007.

SOUZA, L. C. F.; ZANON, G. D. Teor de proteína e de óleo nos grãos de soja em função do tratamento de sementes e aplicação de micronutrientes. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 6, p. 1586–1593, 2009. DOI: 10.1590/S1413-70542009000600018.

STÜLP, M.; BRACCINI, A. L.; ALBRECHT, L. P.; ÁVILA, M. R.; SCAPIM, C. A.; SCHUSTER, I. Desempenho agrônômico de três cultivares de soja em diferentes

épocas de semeadura em duas safras. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 5, p. 1240–1248, 2009. DOI: 10.1590/S1413-70542009000500006.

SULINO, W. C.; BUSO, W. H. D. Adubação foliar (S, Mn e Zn) em diferentes estádios fenológicos do feijoeiro irrigado. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 10, p. e388101018830, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i10.18830.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2024.

TU, C.; FENG, W. D.; YANG, S.; LUO, Y. Copper in the Soil. *In*: SUZUKI, S.; ELLIS, D. A. (ed.). Inorganic contaminants and radionuclides. Amsterdam: Elsevier, 2024. cap. 5, p. 95–111. DOI: 10.1016/B978-0-323-90400-1.00003-3.

VENEZIANO, V. M. Adubação foliar é essencial para o incremento da produtividade agrícola. 2019. 18 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, 2019.

VILLAR, M. L. P. **Manual de interpretação de análise de plantas e solos e recomendação de adubação**. Cuiabá: EMPAER-MT, 2007. 182 p. (EMPAER-MT, Série Documentos, 35).

ZUÑIGA, E. A.; DE SOUSA, R. L.; GOMES, L.; BERGAMO, A. Micronutrientes. *In*: BROETTO, F.; GOMES, E. R.; JOCA, T. A. C. (orgs.). **O Estresse das Plantas: teoria e prática**. São Paulo: Editora UNESP, 2017. Cap. 3, p. 47–63

## ANEXOS



## Laudo de Análise de Solo

|                                 |                                    |         |
|---------------------------------|------------------------------------|---------|
| Laudo Nº 8810                   | Entrada: 25/09/2023                | Gerado: |
| Solicitante: JAMESON BENEDITO   | Município: LUCAS DO RIO VERDE - MT |         |
| Proprietário: JAMESON BENEDITO  | Telefone: (65)99684-3874           |         |
| Propriedade: FAZ. SÃO FRANCISCO | Convênio: GDM GENETICA DO BRASIL   |         |

## Resultados da Análise Química:

| Cod. Lab. | Referência do Cliente                     | pH<br>H <sub>2</sub> O                     | pH<br>CaCl <sub>2</sub> | P<br>mg / dm <sup>3</sup> | P res<br>mg / dm <sup>3</sup> | K<br>mg / dm <sup>3</sup> | K<br>mg / dm <sup>3</sup>               | Ca<br>cmol <sub>c</sub> / dm <sup>3</sup> | Mg<br>cmol <sub>c</sub> / dm <sup>3</sup> | Al<br>cmol <sub>c</sub> / dm <sup>3</sup>        | H+Al<br>cmol <sub>c</sub> / dm <sup>3</sup> |
|-----------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 37890     | Nº 01 - 00 a 20 CM                        | ns                                         | ns                      | ns                        | ns                            | ns                        | ns                                      | ns                                        | ns                                        | ns                                               | ns                                          |
| Cod. Lab. | SB<br>cmol <sub>c</sub> / dm <sup>3</sup> | CTC<br>cmol <sub>c</sub> / dm <sup>3</sup> | V<br>%                  | m<br>%                    | M.O.<br>dag / Kg              | P-rem.<br>mg / Kg         | Relação entre bases:<br>Ca/Mg Ca/K Mg/K |                                           |                                           | Relação entre bases e CTC<br>Ca/CTC Mg/CTC K/CTC |                                             |
| 37890     | ns                                        | ns                                         | ns                      | ns                        | ns                            | ns                        | ns                                      | ns                                        | ns                                        | ns                                               | ns                                          |

## Análise Física

| Cod. Lab. | B<br>mg dm <sup>-3</sup> | Cu<br>mg dm <sup>-3</sup> | Fe<br>mg dm <sup>-3</sup> | Mn<br>mg dm <sup>-3</sup> | Zn<br>mg dm <sup>-3</sup> | S<br>mg / dm <sup>3</sup> | Argila | Silte | Areia Total | Areia Grossa | Areia Fina | Classificação |
|-----------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------|-------|-------------|--------------|------------|---------------|
| 37890     | 0,16                     | 0,4                       | 48                        | 10,0                      | 5,9                       | 9,0                       | 470    | 75    | 455         | ns           | ns         | 3             |

ns - Não solicitado  
CTC - CTC a pH 7,0 V -  
Saturação por bases m -  
Saturação por alumínio SB -  
Soma de Bases

Unidades  
3  
mg/Kg = mg/dm = ppm

Extratores pH - H<sub>2</sub>O e CaCl<sub>2</sub>  
P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1  
Ca - Mg - Al - Extrator KCl 1N  
H + Al - Extrator SMP  
S - Extrator Fósforo monobásico de Cálcio  
B - Água quente  
P-rem - Fósforo Remanescente  
Mat. Org. (M.O) - Oxidação: Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 4N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10N CRQ:  
16100101

  
MÁRCIO AURÉLIO DOS SANTOS  
Responsável Químico



## Resultados de Análise de Solo

| <b>Solicitante:</b> LUIS HENRIQUE BARBOSA KASUYA  |                   |             |           | <b>Convênio:</b> FATURA         |           |        |         |        |    |        |          |          |          |          |      |
|---------------------------------------------------|-------------------|-------------|-----------|---------------------------------|-----------|--------|---------|--------|----|--------|----------|----------|----------|----------|------|
| <b>Proprietário:</b> LUIS HENRIQUE BARBOSA KASUYA |                   |             |           | <b>Data Entrada:</b> 01/07/2023 |           |        |         |        |    |        |          |          |          |          |      |
| <b>Propriedade:</b> FAZENDA KASUYA                |                   |             |           | <b>Data Saída:</b> 06/07/2023   |           |        |         |        |    |        |          |          |          |          |      |
| <b>Município:</b> Lucas do Rio Verde - MT         |                   |             |           | <b>Lauda Nº:</b> 3210/2023      |           |        |         |        |    |        |          |          |          |          |      |
| Cod. Lab.                                         | Descrição Amostra | pH          |           | -1<br>Pmeh                      | P<br>rem. | P res. | +<br>Na | +<br>K | S  | +<br>K | 2+<br>Ca | 2+<br>Mg | 3+<br>Al | H+<br>Al | M.O. |
|                                                   |                   | HO<br>2     | CaCl<br>2 |                                 |           |        |         |        |    |        |          |          |          |          |      |
|                                                   |                   | -3<br>mg dm |           |                                 |           |        |         |        |    |        |          |          |          |          |      |
| 42653                                             | 01 - 0 - 20       | 6,0         | 5,2       | 12,0                            | ns        | ns     | ns      | 60,50  | 3  | 0,15   | 2,63     | 1,23     | 0,00     | 4,00     | 2,61 |
| 42654                                             | 02 - 0 - 20       | 6,1         | 5,2       | 18,9                            | ns        | ns     | ns      | 49,40  | 4  | 0,13   | 2,84     | 1,47     | 0,00     | 3,40     | 2,94 |
| 42655                                             | 03 - 0 - 20       | 5,6         | 4,7       | 13,6                            | ns        | ns     | ns      | 64,10  | 16 | 0,16   | 1,84     | 0,86     | 0,09     | 5,00     | 2,58 |
| 42656                                             | 03 - 20 - 40      | 5,1         | 4,4       | 2,2                             | ns        | ns     | ns      | 46,50  | 41 | 0,12   | 0,88     | 0,40     | 0,15     | 4,00     | 1,65 |
| 42657                                             | 04 - 0 - 20       | 5,6         | 4,8       | 6,1                             | ns        | ns     | ns      | 55,40  | 7  | 0,14   | 1,23     | 0,76     | 0,08     | 3,80     | 1,99 |
| 42658                                             | 04 - 20 - 40      | 5,2         | 4,6       | 1,5                             | ns        |        |         | 39,60  | 33 | 0,10   | 0,97     | 0,47     | 0,06     | 3,40     | 1,52 |
| 42659                                             | 05 - 0 - 20       | 5,6         | 4,6       | 9,7                             |           |        |         | 46,00  | 7  | 0,12   | 1,23     | 0,80     | 0,00     | 5,00     | 2,32 |

| Cod. Lab. | Descrição Amostra    | B           | Cu  | Fe | Mn  | Zn  | SB                           | T   | t    | V     | m    | Ca/Mg    | Ca/K | Mg/K | Ca/CTC | Mg/CT | K/CTC |
|-----------|----------------------|-------------|-----|----|-----|-----|------------------------------|-----|------|-------|------|----------|------|------|--------|-------|-------|
|           |                      | -3<br>mg dm |     |    |     |     | -<br>3 cmol dm <sup>-1</sup> |     |      | %     |      | Relações |      |      | %      |       |       |
|           |                      |             |     |    |     |     |                              |     |      |       |      |          |      |      |        |       |       |
| 42653     | 01 - 0 - 20<br>15 2  | 0,19        | 0,9 | 28 | 2,3 | 5,3 | 4,0                          | 8,0 | 4,00 | 50,10 | 0,00 | 2,1      | 17,5 | 8,2  | 33     |       |       |
| 42654     | 02 - 0 - 20<br>19 2  | 0,22        | 0,8 | 23 | 3,6 | 5,5 | 4,4                          | 7,8 | 4,40 | 56,90 | 0,00 | 1,9      | 21,9 | 11,3 | 36     |       |       |
| 42655     | 03 - 0 - 20<br>11 2  | 0,26        | 0,7 | 32 | 1,6 | 3,9 | 2,9                          | 7,9 | 3,00 | 36,20 | 3,10 | 2,1      | 11,5 | 5,4  | 23     |       |       |
| 42656     | 03 - 20 - 40<br>7 2  | 0,17        | 0,5 | 35 | 0,8 | 0,8 | 1,4                          | 5,4 | 1,50 | 25,90 | 9,70 | 2,2      | 7,3  | 3,3  | 16     |       |       |
| 42657     | 04 - 0 - 20<br>13 2  | 0,22        | 0,5 | 33 | 1,4 | 2,0 | 2,1                          | 5,9 | 2,20 | 36,10 | 3,60 | 1,6      | 8,8  | 5,4  | 21     |       |       |
| 42658     | 04 - 20 - 40<br>10 2 | 0,15        | 0,4 | 28 | 0,9 | 0,8 | 1,5                          | 4,9 | 1,60 | 31,40 | 3,80 | 2,1      | 9,7  | 4,7  | 20     |       |       |
| 42659     | 05 - 0 - 20<br>11 2  | 0,23        | 0,6 | 34 | 1,4 | 3,6 | 2,1                          | 7,1 | 2,10 | 30,30 | 0,00 | 1,5      | 10,2 | 6,7  | 17     |       |       |

| Cod. Lab. | Descrição Amostra |     | Argila     | Silte | Areia Total | Classificação Textura:             |
|-----------|-------------------|-----|------------|-------|-------------|------------------------------------|
|           |                   |     | -1<br>g kg |       |             |                                    |
| 42653     | 01 - 0 - 20       | 525 | 163        | 312   | Argilosa    | RENATO C. ALVES FILHO              |
| 42654     | 02 - 0 - 20       | 515 | 183        | 302   | Argilosa    |                                    |
| 42655     | 03 - 0 - 20       | 542 | 166        | 292   | Argilosa    |                                    |
| 42656     | 03 - 20 - 40      | 558 | 167        | 275   | Argilosa    |                                    |
| 42657     | 04 - 0 - 20       | 517 | 158        | 325   | Argilosa    |                                    |
| 42658     | 04 - 20 - 40      | 545 | 153        | 302   | Argilosa    | Responsável Técnico                |
| 42659     | 05 - 0 - 20       | 510 | 155        | 335   | Argilosa    | CRQ XVI - 16200195                 |
|           |                   |     |            |       |             | Este laudo não tem fins jurídicos. |

### Análise Granulométrica

Procure um Eng. Agrônomo para recomendações de correção e fertilização do solo.

**RENATO C.**

**ALVES FILHO**

O presente resultado tem seu valor restrito a entrega no laboratório.

Após 90 dias todas as amostras serão descartadas.

| Elementos Determinados   | Método  | Extrator                 | Elementos Determinados | Método  | Extrator               | Legenda            |                                 |
|--------------------------|---------|--------------------------|------------------------|---------|------------------------|--------------------|---------------------------------|
| P-Resina                 | IAC     | Resina Trocadora de Íons | Boro                   | IAC     | BaCl 0,125% a quente 2 | SB = soma de bases | ns = não solicitado             |
| P, K, Cu, Fe, Mn, Zn, Na | Embrapa | Mehlich 1                | pH em água             | Embrapa | H 0 2,5 : 1 de solo 2  | T = CTC a pH 7,0   | cmol x 10 = mmol c <sub>c</sub> |