

**MANEJO NUTRICIONAL E FISIOLÓGICO PARA ALTAS PRODUTIVIDADES DE
SOJA**

Por

GUILHERME FERREIRA LEITE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Bioenergia e Grãos.

Rio Verde – GO

Outubro de 2024

**MANEJO NUTRICIONAL E FISIOLÓGICO PARA ALTAS PRODUTIVIDADES DE
SOJA**

Por

GUILHERME FERREIRA LEITE

Comitê de Orientação:

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Castoldi, IF Goiano – Campus Rio Verde - GO

Coorientadores: Prof^ª. Dr^ª. Fernanda Farnese, IF Goiano – Campus Rio Verde – GO

Dr^ª Vanessa do Rosário Rosa, Bience – Rio Verde - GO

Rio Verde – GO

Outubro de 2024

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

G956f Ferreira Leite, Guilherme
Manejo nutricional e fisiológico para altas produtividades de soja
/ Guilherme Ferreira Leite. Rio Verde 2024.

37f. il.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Castoldi.

Coorientadora: Prof^a. Dra. Fernanda Farnese.

Dissertação (Mestre) - Instituto Federal Goiano, curso de
0233154 - Mestrado Profissional em Bioenergia e Grãos -
Integral (Campus Rio Verde).

1. manejo nutricional. 2. manejo fisiológico. 3. taxa
fotossintética. I. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

<input type="checkbox"/> Tese (doutorado)	<input type="checkbox"/> Artigo científico
<input checked="" type="checkbox"/> Dissertação (mestrado)	<input type="checkbox"/> Capítulo de livro
<input type="checkbox"/> Monografia (especialização)	<input type="checkbox"/> Livro
<input type="checkbox"/> TCC (graduação)	<input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento
<input type="checkbox"/> Produto técnico e educacional - Tipo: <input type="text"/>	
Nome completo do autor: <input type="text" value="Guilherme Ferreira Leite"/>	Matrícula: <input type="text" value="2022202331540005"/>
Título do trabalho: <input type="text" value="MANEJO NUTRICIONAL E FISIOLÓGICO PARA ALTAS PRODUTIVIDADES DE SOJA"/>	

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIIF Goiano: / /

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente
 **GUILHERME FERREIRA LEITE**
Data: 14/03/2025 09:17:05-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

/ /
Local Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

 **GUSTAVO CASTOLDI**
Data: 31/03/2025 18:58:56-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 68/2024 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IF GOIANO

MANEJO NUTRICIONAL E FISIOLÓGICO PARA ALTAS PRODUTIVIDADES DE SOJA

Autor: Guilherme Ferreira Leite
Orientador: Gustavo Castoldi
Coorientadora: Fernanda dos Santos Farnese

TITULAÇÃO: Mestre em Bioenergia e Grãos - Área de Concentração Agroenergia

APROVADA em 26 de outubro de 2024.

Assinado eletronicamente
Dr.^a Vanessa do Rosário Rosa
Avaliadora externa - Bience Agriscience

Assinado eletronicamente
Prof.^a Dr.^a Fernanda dos Santos Farnese
Avaliadora externa - IF Goiano Campus
Rio Verde

Assinado eletronicamente
Prof. Dr. Gustavo Castoldi
Presidente da Banca - IF Goiano Polo de
Inovação

Assinado eletronicamente
Prof. Dr. Sihélio Júlio Silva Cruz
Avaliador interno - IF Goiano Campus
Iporá

Documento assinado eletronicamente por:

- Gustavo Castoldi, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 29/10/2024 09:10:50.
- Sihelio Julio Silva Cruz, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 29/10/2024 09:23:27.
- Fernanda dos Santos Farnese, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 29/10/2024 10:24:08.
- Vanessa do Rosário Rosa, Vanessa do Rosário Rosa - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano (1), em 31/10/2024 18:49:57.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 23/10/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 645464
Código de Autenticação: bda9adc8f8



DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a mim, que estou sempre correndo atrás de todos os meus sonhos e objetivos. Procurando sempre levar comigo os valores que foram adquiridos por toda minha vida, e moldou o ser humano e profissional que venho me tornando.

A conclusão desse mestrado faz parte de uma das metas que tracei para minha vida, e graças a Deus, aos orixás e meus guias, elas vêm se realizando com maestria, cobertas de muito aprendizado, tanto profissionais como sociais.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, aos orixás, e aos meus guias, pois me dão forças em todos os momentos em que preciso, e me guiam em todas as conquistas.

Ao professor Gustavo Castoldi, meu orientador, por aceitar me orientar, mesmo não tendo referências minhas, acreditou no meu trabalho e me auxiliou com paciência e atenção. Às minhas coorientadoras Vanessa Rosa, que vem me acompanhando, na jornada profissional, foi a primeira pessoa a me apoiar nesse passo importante da minha vida, sempre me ajudando, incentivando, e mostrando sempre que posso mais, e a sempre dar o meu melhor. E não menos importante, Fernanda Farnese, uma pessoa e profissional incrível, que tem uma parcela enorme por todo esse trabalho, que confiou em mim, também sem muitas referências, e ajudou muito a tornar tudo isso possível.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, por todas as condições oferecidas para a realização do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos; À coordenação do Programa, e aos docentes, que compartilharam conhecimentos que foram imprescindíveis na realização deste trabalho, e também na minha vida profissional.

À minha mãe, mulher que sempre me ensinou e incentivou a correr atrás de todos os meus sonhos e objetivos. Ela que com seu jeito mãe onça, sempre trouxe valores que serão levados para toda minha vida, e moldou o ser humano que venho me tornando.

À minha amiga Sarinha, que esteve comigo em TODOS os passos desse projeto, me auxiliou muito na instalação e condução dos ensaios e sempre me deu mais que forças.

E aos outros amigos que também sempre estiveram presentes na condução dos trabalhos, que me escutaram reclamar (e não foi pouco), e sempre tinham uma palavra que acalentasse.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	3
2.1 Localização e preparo da área.....	3
2.2 Instalação e delineamento experimental.....	5
2.3 Tratamentos.....	5
2.4 Avaliações.....	6
2.4.1 Diagnose nutricional e exportação de nutrientes pelos grãos.....	7
2.4.2 Índice de clorofilas.....	7
2.4.3 Trocas gasosas e atividade fotossintética.....	8
2.4.4 Biométricas.....	9
2.4.5 Produtividade.....	10
2.6 Análise estatística dos dados.....	10
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	11
3.1 Teor de nutrientes nas folhas e nos grãos.....	11
3.2 Índice de clorofilas.....	14
3.3 Capacidade fotossintética.....	16
3.4 Análises biométricas.....	18
3.5 Produtividade.....	19
4. CONCLUSÕES.....	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	22

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1: Localização das áreas de instalação do experimento: Área 1 Safra 2022/23; Área 2 Safra 2023/24, no município de Rio Verde – GO.....	3
Figura 2: Precipitação total e temperatura máxima, registradas durante o ciclo de desenvolvimento da cultura. Dados oriundos da estação meteorológica automática de Rio Verde – GO.....	4
Figura 3: ClorofiLOG1030 [®] (Falker [®] , Porto Alegre, Brasil) - Medidor eletrônico do teor de clorofilas.....	8
Figura 4: (A) e (B) Pinça do analisador de gases por infravermelho (IRGA); (C) Console e painel do IRGA; (D) Conjunto completo, pinça e console.....	9
Figura 5: Avaliações biométricas utilizando de (A) altura de plantas e (B) diâmetro de colmo.....	9
Figura 6 – Índice de clorofilas Falker (ICF) dos terços superior (A), médio (B) e inferior (C), e a média geral (D), de plantas de soja, variedade Brasmax Olimpo IPRO em estádio R2, em resposta a diferentes manejos de nutrição foliar. T1: Controle T2: T1 + (Mn quelatizado com EDTA) T3: T1 + T2 + (N, P, Mg, S e B) + (Ni, Co, Mo, Zn, Mg, S, P e K) + (Aminoácidos) + (Cu quelatizado em EDTA). Valores médios das safras 2022/23 e 2023/24. Rio Verde – GO.....	15
Figura 7 – Capacidade fotossintética: (A) taxa de assimilação fotossintética (A), (B) condutância estomática (g_s), (C) taxa de transpiração (E), (D) concentração interna/externa CO ₂ (Ci/Ca), (E) eficiência de carboxilação (A/Ci), (F) eficiência no uso da água (EUA), em plantas de soja, variedade Brasmax Olimpo IPRO em estádio R5.2, em resposta a manejos de nutrição foliar. T1: Controle T2: T1 + (Mn quelatizado com EDTA) T3: T1 + T2 + (N, P, Mg, S e B) + (Ni, Co, Mo, Zn, Mg, S, P e K) + (Aminoácidos) + (Cu quelatizado em EDTA) T4: T1 + T2 + T3 + (K, Mg, S, Mn, Zn, B e Cu) T5: T1 + T2 + T3 + T4 + (Mg, Zn e Se). Valores médios das safras 2022/23 e 2023/24.....	17
Quadro 1. Tratamentos, doses e épocas de aplicação utilizados.....	6
Tabela 1. Atributos químicos e granulométricos do solo das áreas experimentais, por ocasião da implantação do ensaio nas safras 2022/23 e 2023/24. Rio Verde – GO.....	4
Tabela 2. Teor de nutrientes nas folhas (coletadas no estádio R1) da soja, variedade Brasmax Olimpo IPRO, em resposta a diferentes fertilizantes foliares. T1: Controle T2: T1 + (Mn quelatizado com EDTA) T3: T1 + T2 + (N, P, Mg, S e B) + (Ni, Co, Mo, Zn, Mg, S, P e K) + (Aminoácidos) + (Cu quelatizado em EDTA) T4: T1 + T2 + T3 + (K, Mg, S, Mn, Zn, B e Cu) T5: T1 + T2 + T3 + T4 + (Mg, Zn e Se). Valores médios das safras 2022/23 e 2023/24.....	13
Tabela 3. Teor de nutrientes nos grãos da soja, variedade Brasmax Olimpo IPRO, em resposta a diferentes fertilizantes foliares. T1: Controle T2: T1 + (Mn quelatizado com EDTA) T3: T1 + T2 + (N, P, Mg, S e B) + (Ni, Co, Mo, Zn, Mg, S, P e K) + (Aminoácidos) + (Cu quelatizado em EDTA) T4: T1 + T2 + T3 + (K, Mg, S, Mn, Zn, B e Cu) T5: T1 + T2 + T3 + T4 + (Mg, Zn e Se). Valores médios das safras 2022/23 e 2023/24.....	13

Tabela 4. Altura de plantas (cm), diâmetro de colmo (mm) nos estádios vegetativo (V) e reprodutivo (R) em plantas de soja, variedade Brasmax Olimpo IPRO, em resposta a manejos de nutrição foliar. **T1:** Controle **T2:** T1 + (Mn quelatizado com EDTA) **T3:** T1 + T2 + (N, P, Mg, S e B) + (Ni, Co, Mo, Zn, Mg, S, P e K) + (Aminoácidos) + (Cu quelatizado em EDTA) **T4:** T1 + T2 + T3 + (K, Mg, S, Mn, Zn, B e Cu) **T5:** T1 + T2 + T3 + T4 + (Mg, Zn e Se). Valores médios das safras 2022/23 e 2023/24..... 19

Tabela 5. Média de produtividade e PMG (peso de mil grãos), expressas em Kgs ha⁻¹ e gramas (g) em plantas de soja, variedade Brasmax Olimpo IPRO, em resposta a manejos de nutrição foliar. **T1:** Controle **T2:** T1 + (Mn quelatizado com EDTA) **T3:** T1 + T2 + (N, P, Mg, S e B) + (Ni, Co, Mo, Zn, Mg, S, P e K) + (Aminoácidos) + (Cu quelatizado em EDTA) **T4:** T1 + T2 + T3 + (K, Mg, S, Mn, Zn, B e Cu) **T5:** T1 + T2 + T3 + T4 + (Mg, Zn e Se). Valores médios das safras 2022/23 e 2023/24..... 20

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACOES E UNIDADES

A – Taxa fotossintética líquida

A/E – Eficiência no uso da água,

A/E_i - Eficiência intrínseca no uso da água

E - Taxa de transpiração

g_s – Condutância estomática

CO₂ - Dióxido de carbono

B – Boro

Ca – Concentração atmosférica

Co – Cobalto

Cu – Cobre

Fe – Ferro

K – Potássio

Mg – Magnésio

Mn – Manganês

Mo – Molibdênio

N – Nitrogênio

Ni – Níquel

P – Fósforo

S – Enxofre

Se – Selênio

Si – Silício

Zn – Zinco

MANEJO NUTRICIONAL E FISIOLÓGICO PARA ALTAS PRODUTIVIDADES DE SOJA

Por

GUILHERME FERREIRA LEITE

Sob a orientação do Prof. Dr. Gustavo Castoldi

RESUMO: A soja é a cultura granífera mais produzida no Brasil, com diferentes aplicações industriais e grande importância na alimentação humana e animal. Durante seu crescimento e desenvolvimento, a cultura precisa de suprimento adequado de água, luz e de vários nutrientes, os quais desempenham papéis importantes no metabolismo da planta. A nutrição foliar é uma ferramenta importante como estratégia de manejo que visa à suplementação com doses menores do que aquelas utilizadas na adubação via solo. O objetivo do trabalho foi determinar se o incremento em termos de manejo nutricional foliar resultaria também no aumento da produtividade da cultura da soja. O experimento foi instalado e conduzido em campo, por duas safras, no município de Rio Verde – GO. Foram conduzidos 5 tratamentos, arranjados em delineamento de blocos ao acaso e com 5 repetições. Os tratamentos foram representados por manejos incrementais, conforme descrito a seguir: T1: Controle (sem qualquer manejo foliar); T2: T1 + (Mn quelatizado com EDTA); T3: T1 + T2 + (N, P, Mg, S e B); + (Ni, Co, Mo, Zn, Mg, S, P e K) + (Aminoácidos) + (Cu quelatizado em EDTA); T4: T1 + T2 + T3 + (K, Mg, S, Mn, Zn, B e Cu); e T5: T1 + T2 + T3 + T4 + (Mg, Zn e Se). Para cada tratamento, as aplicações foram realizadas nas seguintes épocas: T1 controle, T2 (V2 – V5) associado à aplicação de glifosato e pós-emergentes, T3 final da fase vegetativa (V8 – R1), T4 florescimento (R2 – R3), T5 enchimento de grãos (R5.1). As aplicações foram feitas com equipamento pressurizado por cilindro de CO₂ comprimido. Foram realizadas as seguintes avaliações: biometria (altura de plantas e diâmetro de colmo), estimativa do teor de clorofila a e b com clorofilômetro portátil,

análise de parâmetros fotossintéticos da planta com IRGA, análises de diagnose nutricional foliar, exportação de nutrientes pelos grãos e produtividade de grãos. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias, comparadas pelo teste SNK a 0,05% de probabilidade. Foi possível observar que a adubação foliar como estratégia complementar no manejo agrônomo, realizado de acordo com a demanda da cultura, em diferentes estádios de desenvolvimento, promove melhorias na estruturação das plantas, nos teores de clorofila e na taxa fotossintética, ao passo que resulta em maior produtividade de grãos, sendo a melhor resposta expressada pelo T5.

PALAVRAS-CHAVE: Nutrição foliar; Fisiologia; Manejo agrônomo; *Glycine max*.

NUTRITIONAL AND PHYSIOLOGICAL MANAGEMENT FOR HIGH SOYBEAN PRODUCTIVITIES

By

GUILHERME FERREIRA LEITE

Under the guidance of Prof. Dr. Gustavo Castoldi

ABSTRACT: Soybean is the most widely produced grain crop in Brazil, with different industrial applications and great importance in human and animal food. During its growth and development, the crop needs an adequate supply of water, light and various nutrients, which play important roles in plant metabolism. Foliar nutrition is an important tool as a management strategy aimed at supplementation with lower doses than those used in soil fertilization. The aim of this work is to determine whether the increase in terms of foliar nutritional management would also result in an increase in soybean yield. The experiment was set up and conducted in the field for two harvests in the municipality of Rio Verde - GO. Five treatments were carried out in a randomized block design and with five replications. The treatments were represented by incremental management, as described below: T1: Control (without any management); T2: T1 + (Mn chelated with EDTA); T3: T1 + T2 + (N, P, Mg, S and B) + (Ni, Co, Mo, Zn, Mg, S, P and K) + (Aminoacids) + (Cu chelated in EDTA) T4: T1 + T2 + T3 + (K, Mg, S, Mn, Zn, B and Cu); T5: T1 + T2 + T3 + T4 + (Mg, Zn and Se). For each treatment, the applications were made at the following times: T1 control, T2 (V2 - V5) associated with the application of glyphosate and post-emergent, T3 end of the vegetative phase (V8 - R1), T4 flowering (R2 - R3), T5 grain filling (R5.1). The applications were made using equipment pressurized by a compressed CO₂ cylinder. The following assessments were carried out: biometry (plant height and stem diameter), estimation of chlorophyll a and b content with a portable chlorophyll meter, analysis of plant photosynthetic parameters with IRGA, analysis of foliar nutritional diagnosis,

export of nutrients by the grains and productivity. Harvesting and threshing were carried out manually, observing the useful area of the plots. The data was subjected to analysis of variance and the means were compared using the SNK test at 0.05% probability. It was possible to observe that by using foliar fertilization as a complementary strategy in agronomic management, carried out according to the crop's demand, at different stages of development, the nutrients supplied perform important functions in the plants, acting on their metabolism, promoting increases in plant structure, chlorophyll levels and photosynthetic rate, resulting in greater productivity, with this best response expressed by treatment 5.

KEYWORDS: Foliar nutrition; Physiology; Crop management; *Glycine max*.

1. INTRODUÇÃO

A soja é a principal cultura econômica do Brasil, liderando o ranking de produtos mais exportados há 26 anos. O país é protagonista nas exportações do grão que tem se destacado, nos últimos anos, como a principal cultura brasileira entre os cereais, leguminosas e oleaginosas. Isso ocorre em função do seu retorno econômico ao produtor rural (IBGE, 2023). De acordo com dados do 12º levantamento da Safra 2023/24 da CONAB (2024), o Brasil colheu um total de 147.382 milhões de toneladas de soja, com uma produtividade média de 3.202 kg ha⁻¹.

O óleo extraído dos grãos da soja tem aplicação na alimentação humana e na produção de biodiesel. Já o farelo é utilizado na alimentação animal, assegurando o baixo custo na produção de carnes. A demanda tanto por farelo quanto pelo óleo tende a crescer nos próximos anos devido ao constante crescimento populacional, o que torna ainda mais promissor o cenário futuro para o cultivo da soja (BEZERRA et al., 2015). Para atender à crescente demanda do uso da soja, no entanto, é necessário o aumento da produtividade desta cultura. O crescimento e desenvolvimento de plantas precisa de suprimento adequado de água, luz e nutrientes, que são absorvidos pelas raízes e folhas. As plantas requerem alguns nutrientes para o seu crescimento, desenvolvimento e para o desenvolvimento de algumas funções no metabolismo e fisiologia (FERNÁNDEZ et al., 2015). Dentre esses nutrientes, alguns são considerados essenciais. Eles são divididos (conforme a quantidade de exigência por parte das plantas) em macronutrientes N, P, K, S, Ca e Mg e micronutrientes Fe, Mn, Cl, Zn, Cu, B, Mo e Ni. Cada um desses elementos desempenha um papel importante no desenvolvimento das plantas, o que se reflete na produtividade dessas últimas (TISDALE et al., 1993).

A nutrição foliar é uma estratégia de manejo sustentável e produtivo, pois desempenha um papel importante no metabolismo das plantas, na qualidade e no rendimento da cultura (FERNÁNDEZ et al., 2015). Esta prática vem crescendo a cada safra, devido aos ganhos com incremento na produtividade e menores custos com implantação (NACHTIGALL, 2010). As

doses utilizadas são menores do que as utilizadas nas aplicações via solo; a distribuição é fácil, uniforme e visa à suplementação e correção imediata de deficiências nutricionais, de acordo com as exigências da cultura, ou seja, de acordo com seu estágio fenológico e de maior demanda da planta (BALEN, et al. 2015). A nutrição foliar foca na aplicação dos nutrientes, não necessariamente visando um papel nutricional, mas sim ativando alguns processos metabólicos da planta (FERNÁNDEZ et al., 2015). Logo, o adequado suprimento e a disponibilização desses nutrientes às plantas são fatores determinantes na produtividade (GONÇALVES, et al., 2019). Além disso, a biofortificação na cultura da soja tem sido assunto relevante e justifica-se pela utilização da oleaginosa na alimentação humana e animal. A prática pode ser benéfica para toda a cadeia produtiva, aumentando a produtividade média da cultura, agregando valor ao produto final e propiciando ao consumidor um produto com maior teor de nutrientes (SOARES, 2022).

Atualmente, no mercado, podemos contar com soluções e produtos que nos asseguram o estímulo adequado dos nutrientes via foliar e a entrega dos teores de que a cultura necessita, resultando – quando bem-posicionados – nos estímulos fisiológicos que vão arremeter à proteção, desenvolvimento e, no final do seu ciclo, entregar seu máximo potencial produtivo, com segurança, viabilidade financeira e de forma altamente sustentável. Assim, o objetivo do trabalho foi estabelecer um manejo eficiente, utilizando-se fertilizantes foliares em momentos ideais, de acordo com a necessidade e estádios fenológicos, visando a melhoria do metabolismo das plantas, a qualidade dos grãos e o rendimento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e preparo da área

O experimento foi conduzido em campo, por duas safras consecutivas, no município de Rio Verde – GO. As áreas encontram-se nas coordenadas geográficas: -17.723297 de latitude e -50.853944 de longitude em 721 m de altitude; -17.796448 de latitude e -50.971172 de longitude em 770 m de altitude (Figura1).

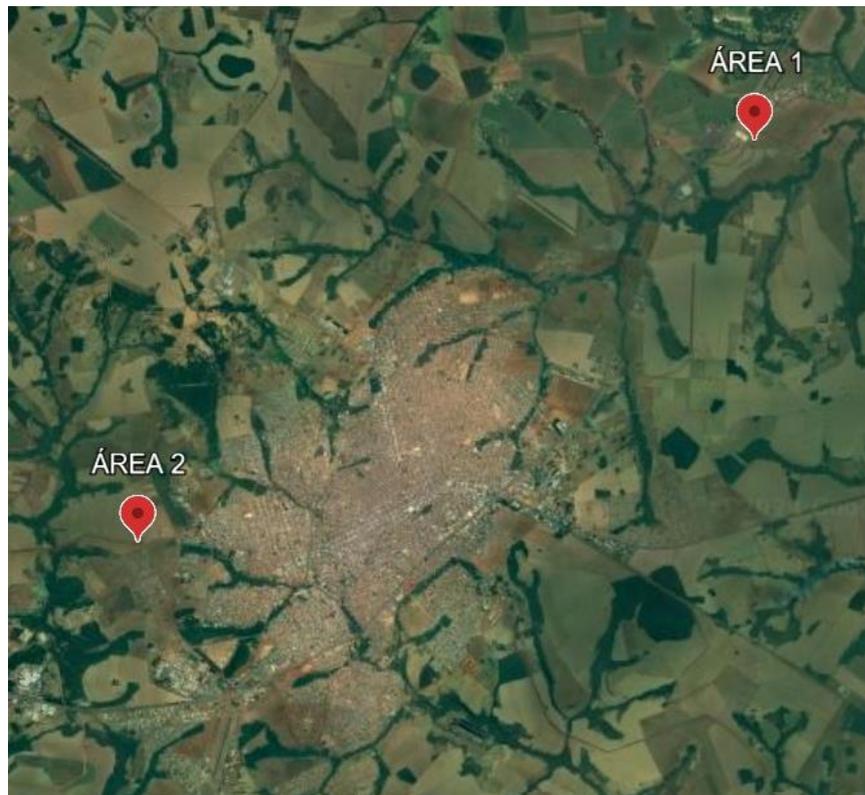


Figura 1: Localização das áreas experimentais. Área 1: Safra 2022/23; Área 2: Safra 2023/24. Rio Verde – GO.

O tipo de solo de ambas as áreas é um Latossolo vermelho distroférico e os atributos químicos e granulométricos por ocasião da implantação dos ensaios estão apresentados na Tabela 1. Os dados de precipitação total e temperatura no período de desenvolvimento da cultura estão ilustrados na figura 2.

Tabela 1. Atributos químicos e granulométricos do solo das áreas experimentais, por ocasião da implantação do ensaio nas safras 2022/23 e 2023/24. Rio Verde – GO.

Área	Camada	pH	P _{res}	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC
		CaCl ₂	----- mg dm ⁻³ -----			----- cmolc dm ⁻³ -----				
1	00-10	5,3	17	--	0,09	3,1	0,8	0	3,3	7,3
1	10-20	4,9	15	--	0,05	1,5	0,3	0	4,1	7,2
2	00-10	5,2	23,5	--	0,18	2,61	1,49	0	3,3	9,01
2	10-20	4,9	18,6	--	0,11	1,63	0,99	0,05	3,5	7,33

Área	Camada	V%	m	M.O.	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Argila	Silte	Areia
		--- % ---		g dm ⁻³	----- mg dm ⁻³ -----					----- % -----		
1	00-10	55	0	6,8	--	--	--	--	--	57,5	--	--
1	10-20	32	0	5,2	--	--	--	--	--	56,9	--	--
2	00-10	56,3	0	--	--	--	--	--	--	45,6	--	--
2	10-20	44	1,8	--	--	--	--	--	--	45,0	--	--

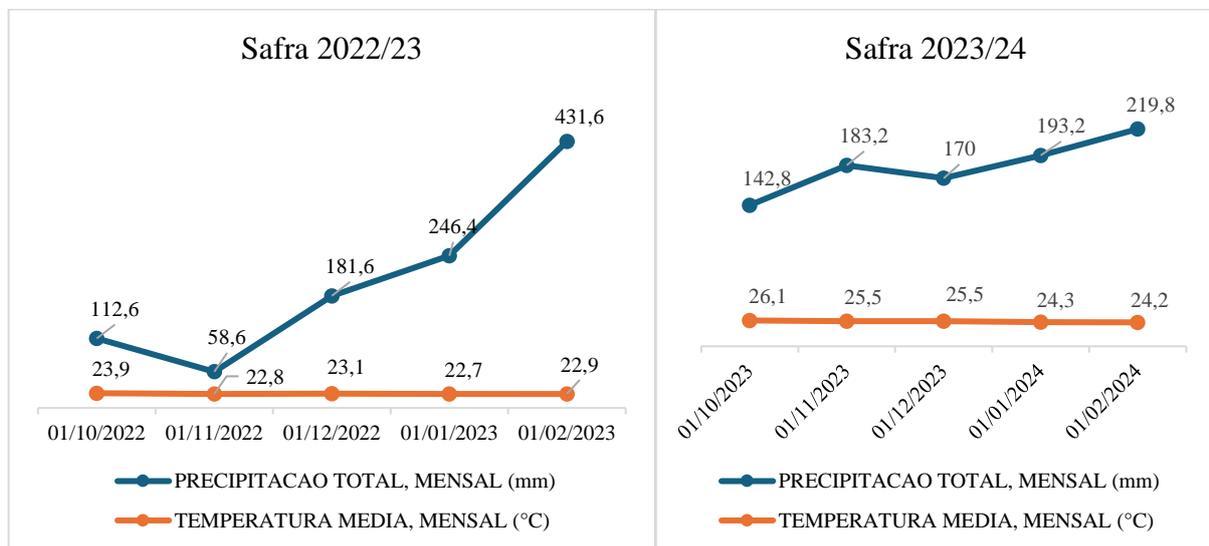


Figura 2: Precipitação total e temperatura máxima, registradas durante o ciclo de desenvolvimento da cultura da soja. Dados oriundos da estação meteorológica automática de Rio Verde – GO.

2.2 Instalação e delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com 5 tratamentos e 5 repetições, num total de 25 unidades experimentais. Cada unidade experimental (parcela) consistia em seis linhas de soja, espaçadas 0,5 metros entre si, e com 5 metros de comprimento, totalizando 15m². As duas linhas das extremidades foram excluídas por serem consideradas como bordaduras, totalizando uma área útil de parcelas de 10m². A variedade utilizada foi a Brasmax Olimpo IPRO, semeada mecanicamente com uma população esperada de 220.000 plantas ha⁻¹, em ambos os anos de experimento. Na primeira safra a semeadura ocorreu no dia 27 de outubro de 2022 e a colheita foi realizada no dia 23 de fevereiro de 2023; na segunda safra a semeadura ocorreu em 17 de outubro de 2023 e a colheita foi realizada no dia 14 de fevereiro de 2024.

2.3 Tratamentos

As plantas de soja foram submetidas a 5 tratamentos diferentes, nos quais diferentes adubações foliares foram realizadas em diferentes estágios de desenvolvimento da soja. Os tratamentos, bem como a composição de cada aplicação, estão descritos no Quadro 1.

Quadro 1: Tratamentos, doses e épocas de aplicação utilizados.

Tratamento	Composição	Produto Comercial	Dose	Época de aplicação
T1	Controle	-	-	-
T2	Mn quelatizado com EDTA	Kellus Mn	0,3 Kgs ha ⁻¹	V5
T3	T2	-	-	R1
	N, P, Mg, S, B	Energy	1,5 Kgs ha ⁻¹	
	Ni, Co, Mo, Zn, Mg, S, P, K	Tônus	0,3 Kgs ha ⁻¹	
	Aminoácidos + N, P, K, B, Cu, Mn, Mo e Zn	Concorde	1 L ha ⁻¹	
	Cu quelatizado em EDTA	Kellus Cooper	0,05 Kgs ha ⁻¹	
T4	T2	-	-	R3
	T3	-	-	
	K, Mg, S, Mn, Zn, B, Cu	Profol produtividade	1,5 Kgs ha ⁻¹	
T5	T2	-	-	R 5.1
	T3	-	-	
	T4	-	-	
	N, P, K, Mg, B, Zn e Se	Nutriduo	1 Kgs ha ⁻¹	

Para cada tratamento, as aplicações foram realizadas nas seguintes épocas: T1 controle; T2 (V5) juntamente com a aplicação de glifosato e pós-emergentes; T3 final da fase vegetativa (R1); T4 florescimento (R3); T5 enchimento (R5.1). As épocas de aplicação foram determinadas de acordo com recomendação de bula dos produtos utilizados.

As aplicações foram realizadas manualmente, com equipamento pressurizado por cilindro de CO₂ comprimido, nas épocas de aplicações citadas acima, com a vazão de 120 L ha⁻¹.

2.4 Avaliações

Durante o período experimental, foram realizadas avaliações biométricas, de parâmetros fotossintéticos, índice de clorofilas, diagnose foliar de nutrientes, análise do teor

de nutrientes nos grãos e produtividade de grãos. As avaliações foram realizadas de forma igual em ambos os ensaios (safra), conforme detalhado abaixo.

2.4.1 Diagnóstico nutricional e exportação de nutrientes pelos grãos

Foram coletados 3 trifólios completos (folhas e pecíolo) em 3 plantas na mesma parcela; a coleta foi feita no terceiro trifólio a partir do ápice da planta, com a planta no estágio de R1.

Após coletadas, as folhas foram acondicionadas em sacos de papel kraft e enviadas para laboratório, onde foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C. Posteriormente, as folhas foram moídas e analisadas quanto aos teores de macro e micronutrientes, segundo metodologia de TEDESCO et al. (1995).

Para as análises nos grãos, após a colheita, e determinada a produtividade, foram separados em média 100g de grãos de cada parcela. Essas subamostras foram submetidas à secagem no mesmo método das folhas. Após secos, os grãos foram enviados ao laboratório para determinar o teor de nutrientes e o cálculo posterior da exportação pelos grãos.

2.4.2 Índice de clorofilas

Os índices de clorofila foram estimados utilizando-se um medidor portátil, ClorofiLOG1030[®] (Falker[®], Porto Alegre, Brasil), sendo obtidos os teores de clorofila a, clorofila b e clorofila total, expressos no índice de clorofilas Falker (ICF), o que está ilustrado pela figura 2. A avaliação foi realizada no estágio fenológico de R1, após a aplicação do T3; no terço superior, no primeiro trifólio desenvolvido; no terço médio, o 5º trifólio a partir do ápice da planta; e no baixeiro, no último trifólio, em 3 plantas dentro da unidade experimental.



Figura 3: ClorofiLOG1030[®] (Falker[®], Porto Alegre, Brasil) - Medidor eletrônico do teor de clorofilas.

2.4.3 Trocas gasosas e atividade fotossintética

Os parâmetros fotossintéticos foram mensurados 5 dias após a última aplicação, aproximadamente 85 DAP, no estágio R 5.2. Folhas completamente expandidas foram utilizadas para determinação da taxa de assimilação líquida do carbono (A), a condutância estomática (g_s), a razão entre a concentração interna e externa de CO_2 (C_i/C_a) e a taxa transpiratória (E). Os parâmetros foram determinados em sistema aberto, sob luz saturante ($1.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e pressão parcial de CO_2 de 40 Pa. Os dados obtidos foram utilizados para o cálculo da eficiência instantânea no uso da água (A/E) e eficiência intrínseca no uso da água (A/g_s). As leituras foram realizadas com um analisador de gases a infravermelho, equipado com uma fonte de luz azul/vermelho (LI - 6800, Li-Cor Inc., Nebraska, EUA) (Figura 3).



Figura 4: (A) e (B) Pinça do analisador de gases por infravermelho (IRGA); (C) Console e painel do IRGA; (D) Conjunto completo, pinça e console.

2.4.4 Biométricas

Foram avaliadas cinco plantas em cada unidade experimental, nos estádios fenológicos de V6 e se repetindo em R1. A altura de plantas foi obtida por meio da medida da distância entre o coleto da planta e o ápice da haste principal; a medição foi realizada com o auxílio de uma trena (Figura 5 A). O diâmetro de colmo foi obtido com o auxílio de um paquímetro, medindo o diâmetro do último nó em desenvolvimento (Figura 5 B).

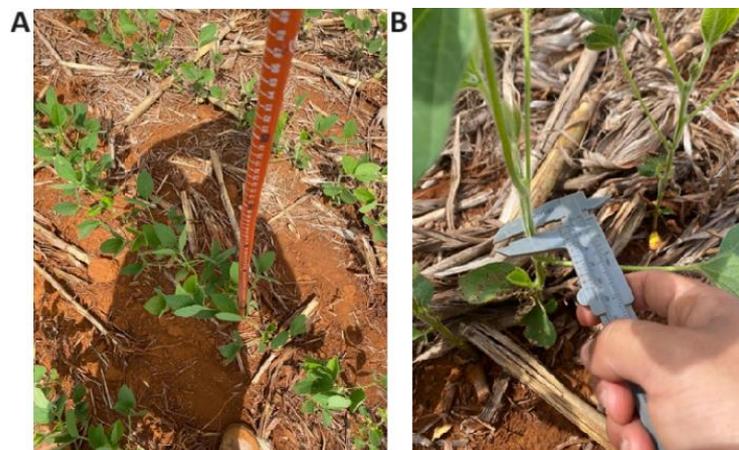


Figura 5: Avaliações biométricas utilizando de (A) altura de plantas e (B) diâmetro de colmo.

2.4.5 Produtividade de grãos

Após a maturação fisiológica da cultura (estádio R8), as plantas da parcela útil foram colhidas manualmente e trilhadas. Os grãos foram pesados com auxílio de balança analítica e mensurou-se a umidade relativa dos grãos com o auxílio de um medidor de umidade portátil. Os valores de peso e umidade foram corrigidos e, posteriormente, transformados para quilogramas por hectare a 13% de umidade, de acordo com a Portaria SDA nº 532, de 14/02/2022, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (ABRASEM, 2022).

2.6 Análise estatística dos dados

Os dados das análises foram organizados em planilhas de Excel; a normalidade dos dados foi avaliada usando o teste Shapiro-Wilk; depois foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste SNK (Student Newman Keuls), a 0,05% de probabilidade pelo Sisvar. Todos os resultados foram apresentados no trabalho como média das duas safras.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Teor de nutrientes nas folhas e nos grãos

A análise de variância mostrou não haver diferença entre os tratamentos quanto aos teores dos nutrientes nas folhas da soja (Tabela 2). A análise foliar permite diagnosticar problemas nutricionais antes que o sintoma visual se manifeste nas plantas, isto é, identificando a “fome oculta” do elemento (VITTI, 2000). Esse método de diagnose possibilita a intervenção com um manejo nutricional via adubação foliar, conforme a insuficiência de um devido nutriente esteja limitando a produtividade (RESENDE, 2004). No intuito de minimizar os desequilíbrios nutricionais nas plantas de soja, é proposta uma faixa de suficiência, que são valores de teores de cada nutriente na planta considerados limitantes (por carência ou por excesso) ao desenvolvimento e à produção (OLIVEIRA JUNIOR 2020).

Alguns nutrientes, como K, Ca, Mg, S, B, Mn e Zn (Tabela 2) apresentaram-se abaixo dos tidos como adequados para a soja, sendo então considerados potencialmente limitantes para o desenvolvimento e produtividade. A fertilização foliar permite utilizar produtos que forneçam quantidades adequadas de nutrientes durante os períodos de maior demanda das plantas, visando corrigir deficiências nutricionais e influenciando na produção e na qualidade dos grãos (SILVA, 2010).

Do mesmo modo, não houve diferença entre os tratamentos quanto aos teores de nutrientes dos grãos (Tabela 3). O emprego de fórmulas equilibradas, via foliar contendo nutrientes em dose e tempo corretos, pode estimular a maior produção de grãos, mesmo que quantidades relativamente pequenas de nutrientes provenientes de fertilizantes foliares sejam requeridas nos estádios de desenvolvimento das plantas (OLIVEIRA et al. 2006).

Ainda na tabela 3, é possível observar que o teor de Se também não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, do que se conclui que o T5 não foi eficaz em alterar a concentração de Se nos grãos e também não auxiliou em processos metabólicos das plantas. Embora o Se não seja considerado um nutriente essencial para as plantas, efeitos benéficos são observados em diversas pesquisas, com o Se atuando em enzimas do sistema antioxidante, estimulando o acúmulo de matéria seca, auxiliando no metabolismo de carboidratos e aumentando a taxa fotossintética, quando fornecido nos estádios iniciais de reprodução R1/ R2 (SOUSA et al. 2022).

Tabela 2. Teor de nutrientes nas folhas (coletadas no estágio R1) da soja, variedade Brasmax Olimpo IPRO, em resposta a diferentes fertilizantes foliares. **T1:** Controle **T2:** T1 + (Mn quelatizado com EDTA) **T3:** T1 + T2 + (N, P, Mg, S e B) + (Ni, Co, Mo, Zn, Mg, S, P e K) + (Aminoácidos) + (Cu quelatizado em EDTA) **T4:** T1 + T2 + T3 + (K, Mg, S, Mn, Zn, B e Cu) **T5:** T1 + T2 + T3 + T4 + (Mg, Zn e Se). Valores médios das safras 2022/23 e 2023/24.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	Co	Mo	Se	Si
	----- g kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----									
Controle	39,4	3,2	11,4	2,8	1,6	1,7	32,9	8,0	600	14,2	24,3	6,9	0,1	2,8	6,4	132
T2	39,0	3,1	11,4	2,8	1,6	1,7	32,8	7,8	510	14,1	24,5	6,8	0,1	2,8	6,5	91,4
T3	40,3	3,1	11,5	2,8	1,6	1,7	32,3	7,8	519	14,1	24,3	7,0	0,1	2,7	6,5	91,7
T4	37,0	3,2	11,5	2,9	1,6	1,7	32,6	7,8	541	14,1	24,4	7,3	0,1	2,7	6,7	92,5
T5	35,3	3,2	11,6	2,9	1,6	1,7	32,7	7,8	509	14,3	24,7	6,8	0,1	2,6	6,8	91,2
CV (%)	17,77	7,82	5,49	7,18	4,49	2,94	3,03	4,28	48,89	9,34	4,74	10,28	108,08	13,03	10,77	51,65

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste SNK a 0,05% de probabilidade.

Tabela 3. Teor de nutrientes nos grãos da soja, variedade Brasmax Olimpo IPRO, em resposta a diferentes fertilizantes foliares. **T1:** Controle **T2:** T1 + (Mn quelatizado com EDTA) **T3:** T1 + T2 + (N, P, Mg, S e B) + (Ni, Co, Mo, Zn, Mg, S, P e K) + (Aminoácidos) + (Cu quelatizado em EDTA) **T4:** T1 + T2 + T3 + (K, Mg, S, Mn, Zn, B e Cu) **T5:** T1 + T2 + T3 + T4 + (Mg, Zn e Se). Valores médios das safras 2022/23 e 2023/24.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	Co	Mo	Se	Si
	----- g kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----									
Controle	42,4	2,5	17,7	12,9	2,4	2,3	115	7,8	229	27,9	29,9	21,7	0,1	0,6	5,1	876
T2	41,6	2,2	19,1	13,8	2,2	2,2	113	6,9	259	27,5	28,7	22,1	0,1	0,5	4,1	836
T3	42,7	2,3	19,8	13,1	2,1	2,2	119	7,1	232	29,1	27,1	23,3	0,1	0,6	4,5	840
T4	43,1	2,2	19,0	13,3	2,1	2,2	117	6,9	241	27,6	26,4	20,5	0,1	0,5	4,7	832
T5	43,9	2,3	18,8	13,1	2,1	2,2	119	6,9	268	29,1	27,5	19,1	0,1	0,5	4,7	829
CV (%)	10,23	20,41	15,40	20,83	10,88	11,12	15,03	15,73	47,97	31,50	23,77	41,07	161,22	64,44	30,61	24,60

3.2 Índice de Clorofilas

A análise dos índices de clorofilas permitiu observar um comportamento diferencial dependendo dos terços das plantas que foram analisados (Figura 6). No que concerne ao terço superior (Figura 6A) e o terço médio (Figura 6B), não foram observadas diferenças entre os tratamentos. No baixeiro, por outro lado, os tratamentos T2 e T3 resultaram no aumento do índice de clorofilas em relação ao controle (Figura 6C). Um baixeiro ativo é importante, pois tem grande participação no processo de enchimento de grãos, nas vagens presentes nesse terço da planta. Ao se analisarem as médias, verificou-se que, nos tratamentos com aplicação dos nutrientes, existe a tendência de aumentar significativamente o índice de clorofilas em relação ao controle (Figura 6D). Um dos fatores ligados à eficiência da fotossíntese nas plantas é o conteúdo de clorofilas presente nas folhas, por sua ligação direta com a absorção e a transferência de energia luminosa. Uma planta com alta concentração de clorofila é capaz de atingir taxas fotossintéticas mais altas, tendo em vista seu maior potencial de captação de luz (MELO, 2019).

Os tratamentos T2 e T3 fornecem quantidades de nutrientes essenciais para as plantas, ofertados de acordo com a demanda da cultura, auxiliando na manutenção das clorofilas, tais como: N, que é fundamental para desenvolvimento da cultura, sendo ele um constituinte básico das proteínas e enzimas, das clorofilas, ácidos nucleicos, além de participar da síntese hormonal (TAIZ & ZEIGER, 2013); K, que está envolvido no início dos processos metabólicos do nitrogênio, especialmente na redutase do nitrato (VIANA, 2011) e; Mg, que é o principal constituinte da clorofila, ocupando posição central na molécula. Cerca de 10% do Mg total da folha está na clorofila, portanto, este é um nutriente indispensável para a síntese do pigmento cloroplastídico (DORENSTOUTER et al., 1985). Outros micronutrientes também têm papel fundamental, tais como: B, que atua promovendo efeitos positivos nos parâmetros da fase

fotoquímica da fotossíntese (HAJIBOLAND; BASTANI, 2012); Zn, que contribui para o aumento das concentrações de clorofila e a eficiência da fotossíntese (OHKI 1976); Cu que promove o aumento no conteúdo de clorofilas e estimula a atividade fotossintética das plantas (BERNAL et al., 2007) e; Mn, que é refletido na eficiência fotossintética, atuando como responsável pelo aumento do número de cloroplastos (SIMPSON E ROBINSON, 1984).

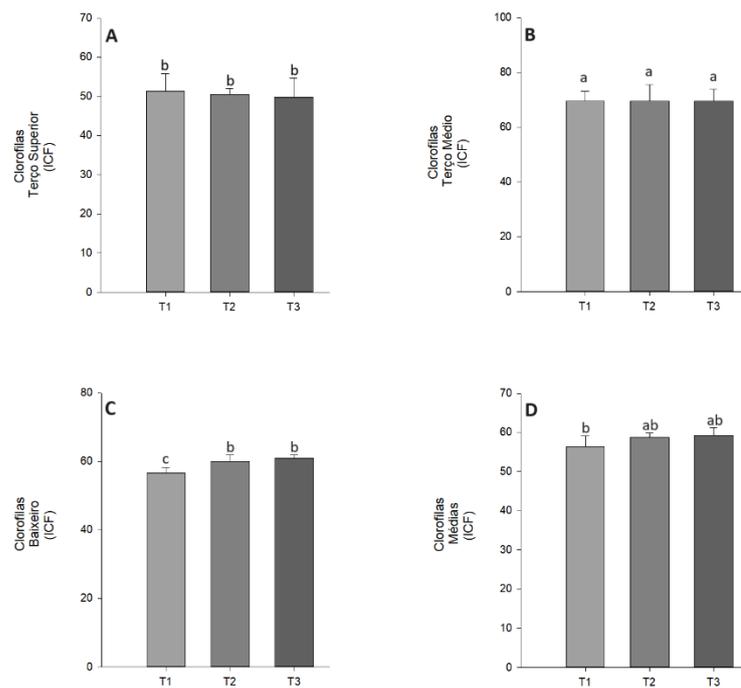


Figura 6 – Índice de clorofilas Falker (ICF) dos terços superior (A), médio (B) e inferior (C), e a média geral (D), de plantas de soja, variedade Brasmax Olimpo IPRO em estágio R2, em resposta a diferentes manejos de nutrição foliar. **T1:** Controle **T2:** T1 + (Mn quelatizado com EDTA) **T3:** T1 + T2 + (N, P, Mg, S e B) + (Ni, Co, Mo, Zn, Mg, S, P e K) + (Aminoácidos) + (Cu quelatizado em EDTA). Valores médios das safras 2022/23 e 2023/24. Rio Verde – GO.

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste SNK a 0,05% de probabilidade.

De acordo com FERNÁNDEZ (et al., 2015), os índices de clorofila são mais elevados quando existe a presença de alguns nutrientes aplicados simultaneamente nas plantas, em quantidades adequadas ao estágio de desenvolvimento em que a planta se encontra. Reproduzimos esse cenário, em que as plantas receberam aplicações específicas em fases cruciais para seu desenvolvimento e reprodução. PLESNICAR et al. (1997) também

evidenciaram que a escassez de micronutrientes afeta as propriedades funcionais dos estômatos, promovendo danos estruturais às células, resultando em estômatos não funcionais. Ainda sugeriram que a redução da taxa fotossintética em plantas deficientes poderia estar correlacionada com teor reduzido de clorofilas. Conforme o agravamento da deficiência nutricional, a estrutura dos cloroplastos se torna alterada (LONG et al., 2020), o que corrobora os dados obtidos no trabalho.

3.3 Capacidade Fotossintética

A taxa fotossintética foi maior nos tratamentos T3, T4 e T5 (Figura 7A). A fotossíntese é um processo importante para as plantas, uma vez que a energia luminosa é transformada em energia química (TOCHETTO, 2013). O aumento na fotossíntese nesses tratamentos pode ser correlacionado com a tendência no aumento da concentração de clorofilas que observamos no T2 e T3, visto que isso resulta em maior habilidade de captura de luz e transferência de energia luminosa para a fixação de CO₂. As plantas, quando não estão em situações de estresse, realizam a conversão fotossintética do CO₂ atmosférico em carboidratos, direcionando-os para o crescimento e produtividade da cultura e reduzindo a fotorrespiração em várias espécies de plantas (BLOOM, 2014).

Nas plantas analisadas não se observou nenhuma alteração em E (Figura 7C), embora isso não tenha se refletido em maior eficiência no uso da água (Figura 7F), demonstrando que as plantas submetidas aos tratamentos estão produzindo mais fotossíntese, com um menor gasto de água. Outro fator comumente associado a incrementos na fotossíntese consiste na taxa de abertura estomática, sendo que maiores valores de g_s são comumente relacionados com ganhos na produção de carboidrato. No entanto, isso não ocorreu e não foram observadas alterações em g_s (Figura 7B), sendo esses resultados positivos, pois foi observado o aumento da fotossíntese, sem que isso implicasse na maior abertura estomática (SOUSA, 2024). Maior na

taxa fotossintética sem incrementos em g_s é um dos grandes alvos das tecnologias agrícolas, pois permite que a produção de carboidratos ocorra sem demandas adicionais por recursos hídricos. Com efeito, a alta demanda hídrica pode comprometer não apenas o uso de recursos naturais, mas também a produtividade da soja, sobretudo em períodos de veranico (SOUSA, 2024).

É possível, portanto, que o aumento observado na fotossíntese esteja relacionado com o fornecimento de nutrientes, de acordo com as demandas das plantas, atuando em processos vitais para o crescimento e desenvolvimento delas e afetando diretamente na produção de grãos. Sendo aplicados em diferentes etapas, fornecem as quantidades necessárias que as plantas necessitam para ativar mecanismos que auxiliam nesses processos.

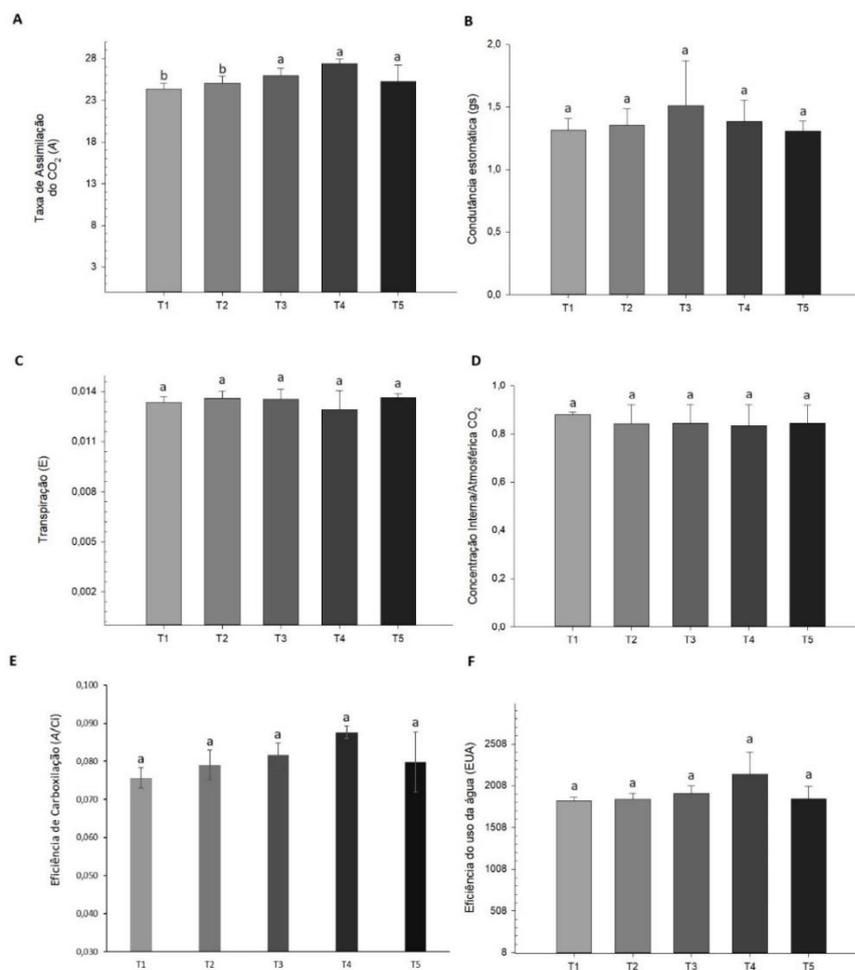


Figura 7 – Capacidade fotossintética: **(A)** taxa de assimilação fotossintética (A), **(B)** condutância estomática (g_s), **(C)** taxa de transpiração (E), **(D)** concentração interna/externa CO_2 (C_i/C_a), **(E)** eficiência de carboxilação (A/C_i), **(F)** eficiência no uso da água (EUA), em plantas de soja, variedade Brasmax Olimpo IPRO em estádio R5.2, em resposta a manejos de nutrição foliar. T1: Controle T2: T1 + (Mn quelatizado com EDTA) T3: T1 + T2 + (N, P, Mg, S e B) + (Ni, Co, Mo, Zn, Mg, S, P e K) + (Aminoácidos) + (Cu quelatizado em EDTA) T4: T1 + T2 + T3 + (K, Mg, S, Mn, Zn, B e Cu) T5: T1 + T2 + T3 + T4 + (Mg, Zn e Se). Valores médios das safras 2022/23 e 2023/24.

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste SNK a 0,05% de probabilidade.

3.4 Análises Biométricas

Em relação às análises biométricas, não foi possível observar diferença significativa em nenhum dos tratamentos analisados no que se refere à altura das plantas no vegetativo e no reprodutivo e ao diâmetro do colmo no vegetativo (Tabela 6). O diâmetro de colmo no reprodutivo, no entanto, foi maior nos tratamentos T3, T4 e T5, os quais produziram um efeito positivo no fortalecimento das plantas durante essa fase (ROSA, 2020). Esse aumento pode ser justificado pela maior quantidade de clorofilas e conseqüentemente pelo aumento da taxa fotossintética, produzindo mais carboidratos e direcionando-os para o crescimento e a reprodução. Também se justifica pelas quantidades de B, que tem como uma das principais funções divisão celular, lignificação, transporte de açúcares, formação de novos tecidos e integridade da membrana plasmática. Nessa fase, tem forte relação com o crescimento do tubo polínico, daí a sua grande importância na fase reprodutiva, para evitar abortamento dos botões, flores e frutos (ARAÚJO et al. 2017). A deficiência de B pode promover a redução da área foliar e alterações de compostos presentes nas folhas, influenciando em processos fisiológicos, como a fotossíntese e a transpiração (KEURBAUY, 2004). E Zn, que atua no crescimento das plantas, por sua participação na formação do ácido indolacético (AIA), é um hormônio de crescimento que promove o alongamento celular (MASCARENHAS et al., 2014). O Zn é necessário para ativar enzimas nas plantas; essas enzimas são responsáveis pela síntese de proteínas, carboidratos, produção de clorofila, e compostos essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A deficiência de zinco pode afetar a fotossíntese e,

consequentemente, a produção de energia necessária para o crescimento e desenvolvimento das plantas (MOREIRA, 2020).

Tabela 4. Altura de plantas (cm), diâmetro de colmo (mm) nos estádios vegetativo (V) e reprodutivo (R) em plantas de soja, variedade Brasmax Olimpo IPRO, em resposta a manejos de nutrição foliar. **T1:** Controle **T2:** T1 + (Mn quelatizado com EDTA) **T3:** T1 + T2 + (N, P, Mg, S e B) + (Ni, Co, Mo, Zn, Mg, S, P e K) + (Aminoácidos) + (Cu quelatizado em EDTA) **T4:** T1 + T2 + T3 + (K, Mg, S, Mn, Zn, B e Cu) **T5:** T1 + T2 + T3 + T4 + (Mg, Zn e Se). Valores médios das safras 2022/23 e 2023/24.

Tratamentos	Altura Plantas Vegetativo (V6)	Diâmetro de Colmo Vegetativo (R1)	Altura Plantas Reprodutivo	Diâmetro de Colmo Reprodutivo
	----- cm -----	----- mm -----	----- cm -----	----- mm - -----
Controle	21,3 a	3,8 a	39,1 a	5,3 b
T2	21,4 a	3,9 a	40,0 a	5,7 b
T3	21,9 a	4,1 a	40,1 a	5,8 a
T4	21,9 a	4,1 a	40,3 a	5,9 a
T5	21,9 a	4,2 a	40,7 a	6,2 a
CV (%)	4,82	7,67	6,50	8,12

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste SNK a 0,05% de probabilidade.

3.5 Produtividade de grãos

O tratamento 5 foi o mais eficaz no aumento da produtividade e PMG, seguidos do T4 e T3 (Tabela 7). Podemos observar que o controle, que representa o cenário sem a intervenção dos tratamentos testados, teve a menor produtividade, seguida do tratamento 2. A tecnologia da adubação foliar, conforme as fases fenológicas da cultura da soja com a aplicação de macro e micronutrientes iniciadas no período vegetativo da soja, aumentou a produção em função do aumento da taxa fotossintética (SILVA et al. 2017). A fotossíntese (A) é o principal mecanismo das plantas para sua sobrevivência, bem como para a manutenção da sua produtividade (FERNÁNDEZ-MARÍN et al., 2020). No trabalho, foi observado que os resultados obtidos estão diretamente ligados aos teores de fotossíntese que foram aumentados pelo T5. O CO₂ promove maiores taxas fotossintéticas de plantas e, portanto, produtividade e rendimento delas

(LONG et al., 2004). A baixa disponibilidade de nutrientes limita o efeito do CO₂ nas taxas fotossintéticas das plantas (DONG, 2018), o que não ocorreu no presente trabalho, sendo que o T5 disponibilizou nutrientes em fases específicas de demandas das plantas, resultando na maior eficiência do aproveitamento do CO₂, promovendo assim o maior rendimento e a maior produtividade.

Tabela 5. Média de produtividade e PMG (peso de mil grãos), expressas em Kgs ha⁻¹ e gramas (g) em plantas de soja, variedade Brasmax Olimpo IPRO, em resposta a manejos de nutrição foliar. **T1:** Controle **T2:** T1 + (Mn quelatizado com EDTA) **T3:** T1 + T2 + (N, P, Mg, S e B) + (Ni, Co, Mo, Zn, Mg, S, P e K) + (Aminoácidos) + (Cu quelatizado em EDTA) **T4:** T1 + T2 + T3 + (K, Mg, S, Mn, Zn, B e Cu) **T5:** T1 + T2 + T3 + T4 + (Mg, Zn e Se). Valores médios das safras 2022/23 e 2023/24.

Tratamentos	Produtividade	PMG
	----- kg ha ⁻¹ -----	----- g -----
Controle	3.547 d	153,4 a
T2	3.604 d	153,6 a
T3	4.198 c	153,8 a
T4	4.937 b	155,8 a
T5	5.509 a	158,0 a
CV (%)	3,53	7,59

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste SNK a 0,05% de probabilidade.

4. CONCLUSÕES

A adubação foliar, realizada de acordo com a demanda da cultura, respeitando seu estágio de desenvolvimento e como estratégia complementar no manejo agrônomo, é uma excelente ferramenta para suprir as necessidades da cultura, promovendo incrementos no diâmetro de colmo no estágio reprodutivo e melhorando a estruturação das plantas. Também eleva os teores de clorofila e taxa fotossintética, resultando em maior produtividade de grãos. Nesse cenário, a maior produtividade foi obtida com um manejo nutricional completo em diferentes estágios de desenvolvimento, tendo essa melhor resposta expressada pelo T5.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABRASEM – Associação brasileira de sementes e mudas. Portaria DAS nº 532, de 14 de Fevereiro de 2022. Disponível em: <https://www.abrasem.com.br/wp-content/uploads/2021/05/Portaria-SDA-no-532-de-14-de-fevereiro-de-2022-Estabelece-o-Regulamento-Tecnico-definindo-o-padrao-oficial-de-classificacao-da-soja-e-de-seus-subprodutos.pdf>. Acesso em: 22 de julho de 2024.

ARAÚJO, M. S.; MELO, M. A.; HODECKER, B. E. R.; BARRETO, V. C. M.; ROCHA, E. C. Adubação com boro no crescimento de mudas de mogno-africano. *Revista de Agricultura Neotropical, Cassilândia, MS, v. 4, Suplemento 1, p. 1-7, dez. 2017.*

BALEN, et al. Aplicação de fertilizante foliar na cultura da soja. XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Natal, RN, 2015.

BERNAL, M.; CASES, R.; PICOREL, R.; YRUÉLA, J. Foliar and root Cu supply affect differently Fe- and Zn- uptake and photosynthetic activity in soybean plants. *Environmental and Experimental Botany, v. 60, p. 145-150, 2007.*

BEZERRA, A.R.G.; SEDIYAMA, T.; BORÉM, A.; SOARES, M.M; Importância Econômica. In: Sedyama, T.; Silva, F.; Borém, A. Soja: do plantio à colheita. p.9-26; 2015.

BLOOM, A.J.; BURGER, M.; KIMBALL, B.A. Nitrate assimilation is inhibited by elevated CO₂ in field-grown wheat. *Nature. 2014.*

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. 2024. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 10, safra 2023/24, n. 8 oitavo levantamento, maio 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 15 de Maio de 2024.

DONG, J.; GRUDA, N.; LAM, SK; LI, X.; DUAN, Z. Efeitos do CO₂ elevado na qualidade nutricional de vegetais: uma revisão. *Frontiers in Plant Science, 9:1–11, 2018.* 10.3389/fpls.2018.00924.

DORENSTOUTER H, Pieters GA & Findenegg GR (1985) Distribution of magnesium between chlorophyll and other photosynthetic functions in magnesium deficient sun and shade leaves of poplar. *Journal Plant Nutrition, 8: 1088-1101.*

FERNÁNDEZ, V; T.; SOTIROPOULOS, T.; BROWN, P. Fundamentos científicos e técnicas de campo. São Paulo: Abisolo, 2015.

FERNÁNDEZ-MARÍN, B., GULÍAS, J., FIGUEROA, C.M., IÑIGUEZ, C., CLEMENTE-MORENO, M.J., NUNES-NESE, A., FERNIE, A.R., CAVIERES, L.A., BRAVO, L.A., GARCÍA-PLAZAOLA, J.I., GAGO, J., 2020. How do vascular plants perform photosynthesis in extreme environments? An integrative ecophysiological and biochemical story. *Plant J. 101, 979–1000.* <https://doi.org/10.1111/tbj.14694>

GONÇALVES, A.S.F., CATOIA, B., NETO, S. S. O. Nutrição e produtividade da cultura da soja. *Revista agronomia brasileira, v. 3. Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal – SP, 2019.*

HAJIBOLAND, R.; BASTANI, S. Tolerance to water stress in boron-deficient tea (*Camellia sinensis*) plants. *Folia horticultrae, v. 24, n. 1, p. 41-51, 2012.*

- IBGE.** Banco de dados agregados: Pesquisas: Produção Agropecuária **2023**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/> . Acesso em: 18 de Maio de 2023.
- KERBAUY, G. B.** Fisiologia vegetal. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, **2004**. 470 p.
- KURIHARA, C. H.; VENEGAS, V. H. A.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. DE; STAUT, L. A.** Faixas de suficiência para teores foliares de nutrientes em algodão e em soja, definidas em função de índices DRIS. Revista Ceres, Viçosa, MG, v. 60, n. 3, p. 412-419, **2013**.
- LONG, L., Pidas, P. R., Kristensen, R. K., Schulze, W. X., Husted, S., Zhang, G., Schjoerring, J. K., Yuan, L. (2020)** High light intensity aggravates latent manganese deficiency in maize. Journal of Experimental Botany. 71:6116-27.
- LONG, SP, Ainsworth, EA, Rogers, A., e Ort, DR (2004).** Aumento do dióxido de carbono atmosférico: as plantas ENFRENTAM o futuro. Annu. Rev. Plant Biol. 55, 591–628. doi: 10.1146/annurev.arplant.55.031903.141610
- MARTINEZ, R.A.S.** Biofortificação agrônômica da soja com selênio. Universidade Federal de Lavras – MG, **2018**.
- MASCARENHAS, H .A. A.; ESTEVES, J. A. S; WUTKE, E. B.; GALLO, P. B.** Micronutrientes em soja no estado de São Paulo. Nucleus, v. 11, n. 1, p. 323-342, **2014**.
- MOREIRA, V. O. G; SOUSA, H. H. F; CASTAÑÓN, T. H. F. M; AQUINO, B. F.** Zinc and boron doses and effects of gas exchange during maize vegetative phase. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente. Maringá – PR, **2020**.
- NACHTIGALL, G. R.; NAVA, G.** Adubação foliar: fatos e mitos. Agropecuária Catarinense, Florianópolis, v. 23, n. 2, p. 87-97, **2010**. Suplemento. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/858552>. Acesso em: 15 de Outubro de 2024.
- OHKI, K.** Effect of zinc nutrition on photosynthesis and carbonic anhydrase activity in cotton. Physiologia Plantarum, V.38, p. 300-304, **1976**.
- OLIVEIRA, L.M.; CARVALHO, M.L.M.; DAVIDE, A.C.** Utilização do teste de raios-X na avaliação da qualidade de sementes de canafístula (*Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert. Revista Brasileira de Sementes, v.25, p.116 - 120. **2006**.
- OLIVEIRA JUNIOR, A et al.** FERTILIDADE DO SOLO E AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DA SOJA. Tecnologia de Produção de Soja. Cap 7. **2020**
- PLESNICAR, M.; KASTORI, R.; SAKAC, Z.; PANKOVIC, D.; PETROVIC, N.** Boron as limiting factor in photosynthesis and growth of sunflower plants in relation to phosphate supply. Agrochimica 41, 144-154. Powles SB and Critchley C., 1980 The effect of photon flux density during growth on photo-inhibition of intact attached bean leaflets. Plant Physiology, v. 65, p. 1181-1187, **1997**.
- RESENDE, A. V. de.;** Adubação da soja em áreas do cerrado: micronutrientes/ Álvaro Vilela de Resende. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, **2004**. 29 p. (Documentos/ Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111; 115).
- ROSA, V. d. R. (2020).** Ação de bioestimulantes na mitigação do estresse por deficiência hídrica em soja.

SILVA, N. F. da.; Clemente, G. S.; Teixeira, M. B.; Soares, F. A. L.; Cunha, F. N.; & da Silva Azevedo, L. O. Use of Foliar Fertilizers for the Specific Physiological Management of Different Soybean Crop Stages. *American Journal of Plant Sciences*, v. 8, n. 04, p. 810, **2017**. DOI: 10.4236/ajps.2017.84056

SIMPSON, D. J., **ROBINSON**, S. P. (1984) Freeze-Fracture Ultrastructure of Thylakoid Membranes in Chloroplasts from Manganese-Deficient Plants. *Plant Physiology*. 1984;74:735-41.

SOARES, et al. Aplicação foliar de selênio em soja. XVII CICURV - Congresso de Iniciação Científica de Rio Verde. Rio Verde, GO, **2022**.

SOUSA, G. F. de et al. Selenium enhances chilling stress tolerance in coffee species by modulating nutrient, carbohydrates, and amino acids content. *Frontiers in Plant Science*, [S.l.], v. 13, p. 1-15, Sept. **2022**. DOI: 10.3389/fpls.2022.1000430.

SOUSA, L. F. ; Menezes-Silva, P. E. ; Batista, PF ; Alves, APS ; **ALMEIDA**, S. E. S. ; Rauander Douglas Ferreira Barros Alves ; **LORAM LOURENÇO**, LUCAS ; **BESSA**, L. A. ; **SILVA**, Adinan A. ; **COSTA**, A. C. ; **SILVA**, A. R. ; **FARNESE**, FERNANDA S . Environmental vulnerability index in *Dipteryx alata*: influence of abiotic stresses on central processes of plant physiology and metabolism. *Acta Physiologiae Plantarum JCR*, v. 46, p. 30, **2024**.

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

TEDESCO, M.J.; **GIANELLO**, C.; **BISSANI**, C.A.; **BOHNEN**, H. & **VOLKWEISS**, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, **1995**. 147p. (Boletim Técnico, 5).

TISDALE, SL, Nelson, WL Beaton, JD e Havlin. JL (1993). Fertilidade do solo e fertilizantes. 5ª edição . Macmillan Publishing, Co., NY. 634 pág.

TOCHETTO, C. ESTUDO DO CONTROLE DA ATIVIDADE FOTOSSINTÉTICA DE PLANTAS DE SOJA DURANTE O PERÍODO REPRODUTIVO. Universidade Federal De Santa Catarina Campus De Curitibanos, Curitibanos – SC, **2013**.

VIANA, E.M, **KIEHL**, J. C. Rates of nitrogen and potassium on growth of wheat plants. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Departamento de Ciência do Solo, ESALQ/USP, Piracicaba – SP, **2011**.

VITTI, G. C.; **TREVISAN**, W. Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade da soja. *Informações Agrônomicas*, Piracicaba, n. 90, **2000**. 16 p. Encarte técnico.

WIMMER, M. A.; **EICHERT**, T. Mechanisms for boron deficiency-mediated changes in plant water relations. *Plant science*, v. 203, p. 25-32, **2013**.