

GRAZIELE CIESLINSKI GONÇALVES

APLICAÇÃO DE DOSES DE BORO E *Trichoderma atroviride* EM CULTIVO DE SOJA NA AMAZÔNIA MERIDIONAL

Dissertação de Mestrado

ALTA FLORESTA-MT

2022

	GRAZIELE CIESLINSKI GONÇALVES	Diss. MESTRADO	PPGBioAgro 2022



UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E
AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
BIODIVERSIDADE E AGROECOSSISTEMAS
AMAZÔNICOS



GRAZIELE CIESLINSKI GONÇALVES

APLICAÇÃO DE DOSES DE BORO E *Trichoderma atroviride* EM CULTIVO DE SOJA NA AMAZÔNIA MERIDIONAL

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, para a obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Camillo de Carvalho
Coorientador: Dr. Guilherme Ferreira Ferbonink

ALTA FLORESTA-MT

2022

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO, CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Catálogo na publicação

Faculdade de Ciências Biológicas e Agrárias

Luiz Kenji Umeno Alencar CRB 1/2037

GONÇALVES, Grazielle Cieslinski.
G635a Aplicação de Doses de Boro e Trichoderma Atroviride em Cultivo de Soja na Amazônia Meridional / Grazielle Cieslinski Gonçalves - Alta Floresta, 2022. 116 f.; 30 cm. (ilustrações) Il. color. (sim)

Trabalho de Conclusão de Curso (Dissertação/Mestrado) - Curso de Pós-graduação Stricto Sensu (Mestrado Acadêmico) Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, Faculdade de Ciências Biológicas e Agrárias, Câmpus de Alta Floresta, Universidade do Estado de Mato Grosso, 2022.
Orientador: Marco Antonio Camillo de Carvalho
Coorientador: Guilherme Ferreira Ferbonink

1. Estresse Oxidativo. 2. Glycine Max. 3. Microrganismos Benéficos. 4. Pulverização Foliar. 5. Metabolismo Vegetal. I. Grazielle Cieslinski Gonçalves. II. Aplicação de Doses de Boro e Trichoderma Atroviride em Cultivo de Soja na Amazônia Meridional: .

CDU 631.811:633.34

APLICAÇÃO DE DOSES DE BORO E *Trichoderma atroviride* EM CULTIVO DE SOJA NA AMAZÔNIA MERIDIONAL

GRAZIELE CIESLINSKI GONÇALVES

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, para a obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos.

Aprovada em: 18/03/2022



Prof. Dr. Marco Antonio Camillo de Carvalho
Orientador – UNEMAT/ PPGBioAgro



Prof. Dr. Gustavo Caione
UNEMAT/ PPGBioAgro



Prof. Dr. Cid Naudi Silva Campos
UFMS/ CPCS

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Elizete e Antonio,
pela minha criação e educação,
pelo exemplo de luta que são em minha vida.

Ao meu esposo, Augusto, pelo companheirismo em todos os momentos,
Pela força, confiança, paciência, carinho e todo o amor sempre concedido.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Á Deus por ter me protegido e abençoado para que eu pudesse ir em busca dos meus objetivos, me fortalecendo com esperança e fé afim de continuar persistindo durante essa caminhada, tornando possível obter essa conquista.

Aos meus pais Antonio Gonçalves e Elizete Cieslinski por sempre me incentivaram e apoiarem na caminhada da vida, além de acreditarem em mim motivando para que eu fosse em busca dos meus objetivos.

A minha irmã Andrieli Cieslinski Gonçalves e meu irmão Luiz Antonio Felipe Gonçalves (*in memoria*) por todo incentivo para que eu buscasse os meus sonhos e realizações.

Ao meu esposo pelo companheirismo, incentivo, carinho e compreensão durante todos os momentos difíceis em que estive ao me lado, me motivando para buscar e alcançar meus objetivos pessoais e profissionais.

Aos meus sogros, Janete Campanharo Mateus e Agostinho Gomes Mateus pela grande ajuda, carinho e incentivo durante esses anos.

Ao meu orientador Marco Antonio Camillo de Carvalho e coorientador Guilherme Ferreira Ferbonink, pela orientação, por todo profissionalismo, atenção, paciência, confiança e partilha de ensinamentos que foram essenciais para o desenvolvimento de nossa pesquisa, além disso, para o meu desenvolvimento profissional e pessoal.

A minha grande amiga, Carine Hemkemeier, pela ajuda em todas as atividades de campo e laboratoriais, além da sua parceria, conversas, conselhos, motivação, incentivo, partilha de conhecimentos e pela amizade verdadeira.

A minha amiga, Silvana Rocha Luiz, pela ajuda nas atividades de campo e laboratoriais, bem como, companheirismo, conselhos, incentivo, palavras de motivação e pela amizade verdadeira.

Ao José William Heidrich que me ajudou durante a execução da pesquisa.

A colega Samiele Camargo de Oliveira Domingues pela orientação, auxílio e aos ensinamentos proporcionados.

Aos colegas Hananias Reis, Guilherme Santos, Elizamara Dresch, Larissa Farias, Laiza Almeida Dutra e Mateus Vizentin pelo auxílio.

Aos professores Sheila Caioni, Tiago de Lisboa Parente, Gustavo Caione, Oscar Mitsuo Yamashita, Cid Naudi Silva Campos pela participação e valiosas

contribuições na banca do projeto de pesquisa, qualificação e defesa para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Aos proprietários da área de estudo Fazenda Bela Vista que permitiram com que eu pudesse realizar as aplicações e coletas das amostras durante o ciclo da cultura. Agradeço inclusive aos proprietários da madeireira Talísia pela disponibilidade do espaço para secagem das plantas. Agradeço a empresa Pastorello Acessória pelo empréstimo de equipamento para execução das avaliações morfológicas.

Aos laboratórios de Análises de Solos e Foliar, Fitotecnia, Tecnologia de Sementes e Matologia, Anatomia Vegetal, Tecnologia da Madeira, Genética e Biologia Molecular, Didáticos I e II pela disponibilidade do espaço e equipamentos para realização da pesquisa.

À Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) e ao Programa de Pós-Graduação Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos (PPGBioAgro) pela oportunidade e formação proporcionada.

A todos os docentes do Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, pelos ensinamentos proporcionados de maneira impecável quanto aos conteúdos ministrados, atenção, educação e disponibilidade.

À CAPES pela concessão do auxílio financeiro fornecido por meio da bolsa de estudo para desenvolvimento do projeto e permanência para realização deste.

À todas as pessoas que direta e indiretamente contribuíram para a execução dessa pesquisa, tornando possível concretizarmos a mesma.

À todos, meus sinceros agradecimentos.

“A verdadeira viagem de descobrimento não consiste em procurar novas paisagens, mas em ter novos olhos.”

Marcel Proust

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE SIGLAS (ou de ABREVIATURAS).....	xiii
RESUMO.....	xvi
ABSTRACT	xvii
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	3
3. CAPÍTULOS	5
3.1. CARACTERÍSTICAS BIOQUÍMICAS E FISIOLÓGICAS DE PLANTAS DE SOJA SUBMETIDAS À DOSES DE BORO E INOCULAÇÃO DE <i>Trichoderma atroviride</i>	5
Resumo	6
Abstract	7
Introdução	8
Material e Métodos.....	10
Resultados e Discussão.....	25
Conclusões.....	54
Referências Bibliográficas	55
3.2 CARACTERÍSTICAS VEGETATIVAS E PRODUTIVAS DE SOJA SOB DOSES DE BORO E INOCULAÇÃO DE <i>Trichoderma atroviride</i>	71
Resumo	72
Abstract	73
Introdução	74
Material e Métodos.....	76
Resultados e Discussão.....	83
Conclusões.....	88
Referências Bibliográficas	89
4. CONCLUSÕES GERAIS	95

LISTA DE TABELAS

TABELAS	Página
CAPÍTULO 1	
1. Tabela 1. Resultado da análise química e granulometria do solo na camada de 0-0,20 m de profundidade da área experimental. Alta Floresta – MT, (2021)	12
2. Tabela 2. Desdobramento da interação significativa em função do teor foliar de peróxido de hidrogênio e malondialdeído sob aplicação de <i>Trichoderma atroviride</i> e doses de boro nas plantas de soja. Alta Floresta-MT, (2021)	25
3. Tabela 3. Desdobramento da interação significativa entre as épocas de aplicação de <i>Trichoderma atroviride</i> e doses de boro em grãos de soja para açúcar total, sacarose, aminoácidos e proteína total. Alta Floresta-MT, (2021)	28
4. Tabela 4. Valores de F e coeficiente de variação CV (%) e valores médios do teor foliar de açúcar total, ácido alantóico e carotenoides em plantas de soja nas diferentes épocas de aplicação de <i>Trichoderma atroviride</i> e doses de boro. Alta Floresta-MT, (2021)	36
5. Tabela 5. Desdobramento da interação entre as épocas de aplicação de <i>Trichoderma atroviride</i> e doses de boro, mostrando épocas dentro de doses, para os teores foliar de sacarose, aminoácidos, ureídeos totais, clorofila <i>a</i> , clorofila <i>b</i> , clorofila total, feofitina <i>a</i> , feofitina <i>b</i> e feofitina total. Alta Floresta-MT, (2021)	40
CAPÍTULO 2	
1. Tabela 1. Resultado da análise química e granulometria do solo na camada de 0-0,20 m de profundidade da área experimental. Alta Floresta – MT, (2021)	78

2.	Tabela 2. Valores de F e coeficiente de variação CV (%) e valores médios de altura de planta (ALT), altura de inserção da 1ª vagem (INSER), ramos por planta (RP), vagens por planta (VP), grãos por planta (GP), massa de 100 grãos (M100) e produtividade (PROD) de soja em função da época de aplicação de <i>Trichoderma atroviride</i> e doses de boro. Alta Floresta-MT, (2021)	83
4.	Tabela 4. Valores de F e coeficiente de variação CV (%) e valores médios de teor de boro nas plantas de soja em função da época de aplicação de <i>Trichoderma atroviride</i> e doses de boro. Alta Floresta-MT, (2021)	86

LISTA DE QUADROS

QUADROS	Página
CAPÍTULO 1	
1. Quadro 1. Proporções das diluições para curva padrão da análise de peróxido de hidrogênio	17
2. Quadro 2. Proporções das diluições para curva padrão da análise de açúcares totais.....	18
3. Quadro 3. Proporções das diluições para curva padrão da análise de sacarose.	19
4. Quadro 4. Proporções das diluições para curva padrão da análise de aminoácidos	20
5. Quadro 5. Proporções das diluições para curva padrão da análise de ureídeos totais.	21

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	Página
CAPÍTULO 1	
1. Figura 1. Localização da propriedade de estudo destacando a área experimental	10
2. Figura 2. Valores decendial de temperatura média, umidade relativa média e precipitação pluviométrica registrada na área experimental durante todo o ciclo da cultura. Alta Floresta-MT, (2022) ..	11
3. Figura 3. Esquema demonstrando câmara de Neubauer com área dos subcompartimentos em vermelho para contagem dos conídios de <i>Trichoderma atroviride</i>	14
4. Figura 4. Desdobramento da interação entre as épocas de aplicação de <i>Trichoderma atroviride</i> e doses de boro para o teor de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em folhas de soja. Alta Floresta-MT, (2021)	26
5. Figura 5. Desdobramento da interação entre as épocas de aplicação de <i>Trichoderma atroviride</i> e doses de boro para o teor de malondialdeído (MDA) em folhas de soja. Alta Floresta-MT, (2021) ...	26
6. Figura 6. Teor de açúcar total em grãos de soja em função do uso de doses de B em diferentes épocas de aplicação de <i>Trichoderma atroviride</i> . Alta Floresta-MT, (2021)	29
7. Figura 7. Teor de sacarose em grãos de soja em função do uso de doses de B em diferentes épocas de aplicação de <i>Trichoderma atroviride</i> . Alta Floresta-MT, (2021)	30
8. Figura 8. Teor de aminoácidos em grãos de soja em função do uso de doses de B em diferentes épocas de aplicação de <i>Trichoderma atroviride</i> . Alta Floresta-MT, (2021)	33

9.	Figura 9. Correlação de Pearson para as variáveis bioquímicas e fisiológicas nos grãos de plantas de soja	35
10.	Figura 10. Desdobramento da interação entre <i>Trichoderma atroviride</i> e doses de boro para o teor de sacarose em folhas de soja. Alta Floresta-MT, (2021)	42
11.	Figura 11. Desdobramento da interação entre <i>Trichoderma atroviride</i> e doses de boro para o teor de aminoácidos em folhas de soja. Alta Floresta-MT, (2021)	44
12.	Figura 12. Desdobramento da interação entre <i>Trichoderma atroviride</i> e doses de boro para o teor de clorofila <i>a</i> em folhas de soja. Alta Floresta-MT, (2021)	46
13.	Figura 13. Desdobramento da interação entre <i>Trichoderma atroviride</i> e doses de boro para o teor de clorofila total em folhas de soja. Alta Floresta-MT, (2021)	47
14.	Figura 14. Desdobramento da interação entre <i>Trichoderma atroviride</i> e doses de boro para o teor de feofitina <i>b</i> em folhas de soja. Alta Floresta-MT, (2021)	49
15.	Figura 15. Desdobramento da interação entre <i>Trichoderma atroviride</i> e doses de boro para o teor de feofitina total em folhas de soja. Alta Floresta-MT, (2021)	50
16.	Figura 16. Correlação de Pearson para as variáveis bioquímicas e fisiológicas via foliar nas plantas de soja.....	53

CAPÍTULO 2

1.	Figura 1. Localização da propriedade de estudo destacando a área experimental	76
----	---	----

2.	Figura 2. Valores decendial de temperatura média, umidade relativa média e precipitação pluviométrica registrada na área experimental durante todo o ciclo da cultura. Alta Floresta-MT, (2022) ..	77
3.	Figura 3. Esquema demonstrando câmara de Neubauer com área dos subcompartimentos em vermelho para contagem dos conídios de <i>Trichoderma atroviride</i> ..	80
4.	Figura 4. Correlação de Pearson para os componentes de rendimento e produtividade de soja.	85
5.	Figura 5. Teor de Boro (B) nas folhas de soja em função da aplicação de doses de boro. Alta Floresta-MT, (2021) ..	87

LISTA DE SIGLAS (ou de ABREVIATURAS)

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS	Absorbância
Al	Alumínio
B	Boro
B.D.A	Batata-dextrose-ágar
B.O.D	Biological Oxygen Demand (Demanda biológica de oxigênio)
C°	Graus Celsius
Ca	Cálcio
CaCl₂	Cloreto de cálcio
Cm	Centímetros
cmol⁺	Centimol de carga
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
COVs	Compostos orgânicos voláteis
CAPES	Coordenação de Pesquisa Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CTC	Capacidade de troca catiônica
Cu	Cobre
CuSO₄	Sulfato de cobre
dm	Decímetro
dm⁻³	Decímetro cúbico
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Fe	Ferro
H	Hidrogênio
H₂O₂	Peróxido de hidrogênio
g	Gramas
ha	Hectare(s)
HCl	Ácido clorídrico
H₂SO₄	Ácido sulfúrico
H₃BO₃	Ácido bórico
HNO₃	Ácido nítrico
ICP	Plasma indutivamente acoplado
K	Potássio

KCN Cianeto de potássio
Kg Quilograma
Km Quilômetros
KOH Hidróxido de potássio
K₂SO₄ Sulfato de potássio
L Litro
MAP Fosfato monoamônico
MDA Malondialdeído
MF Matéria fresca
mg Miligrama
Mg Magnésio
mL Mililitro
mm Milímetro
Mn Manganês
M.O Matéria orgânica
N Nitrogênio
NaOH Hidróxido de sódio
Ni Níquel
N₂ Gás nitrogênio
nm nanômetro
nMol Nanomol
ns não significativo
P Fósforo
PPGBioAGRO Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos
PRPPG Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação
rpm rotação por minuto
R1 Estádio reprodutivo início de florescimento
R2 Estádio reprodutivo florescimento pleno
R5 Estádio reprodutivo enchimento de grãos
R6 Estádio reprodutivo grão verde
R9 Estádio de maturidade completa
S Enxofre
sc Sacas

Se Selênio
spp. Espécie
Sat. Saturação
TBA Ácido tiobarbitúrico
TCA Ácido tricloroacético
µg micrograma
µl microlitro
µMol micromol
un unidade
V5 Estádio vegetativo com 5 nós
Zn Zinco

RESUMO

GONÇALVES, Grazielle Cieslinski. M.Sc. Universidade do Estado de Mato Grosso, Abril de 2022. **Aplicação de doses de boro e *Trichoderma atroviride* em cultivo de soja na Amazônia Meridional**. Orientador: Marco Antonio Camillo de Carvalho. Co-orientador: Guilherme Ferreira Ferbonink

A soja é destaque entre as leguminosas produzidas devido ao seu alto valor nutricional e utilização em diversos setores da agroindústria. Entretanto, nos últimos anos, devido à alta demanda do setor produtivo e o crescimento do consumo do grão e a dificuldade de expandir novas áreas, tem sido necessário a integração de novas técnicas de manejo que aumente a produtividade da cultura. Assim, buscando alternativas de práticas de fácil aplicação e eficientes na agricultura, o presente estudo teve por objetivo analisar a capacidade do *Trichoderma atroviride*, aplicado em diferentes estádios fenológicos, na ação como promotor de crescimento e na proteção de plantas na soja, associado às doses de boro. O experimento foi realizado em delineamento de blocos ao acaso, no esquema fatorial 4 x 5, sendo as aplicações de *Trichoderma atroviride* realizadas em três diferentes épocas (V5, R1 e R5) e não aplicação (SEM), e cinco doses de boro (0, 500, 1000, 1500 e 2000 g de B ha⁻¹), onde as aplicações foram realizadas via foliar. A pesquisa foi conduzida na Fazenda Bela Vista, no município de Alta Floresta-MT, região que integra a Amazônia Meridional brasileira. No primeiro capítulo se avaliou a resposta fisiológica da cultura e no segundo capítulo foi abordado o efeito dos tratamentos nas características vegetativas e produtivas da cultura da soja. Com a utilização do microrganismo associado ao micronutriente observou-se a ação como protetor das plantas minimizando as diferentes condições de estresses, onde se verificou o melhor desempenho fisiológico das plantas através do incremento de metabólitos que são essenciais para o crescimento e desenvolvimento da cultura. Porém, não foi possível observar, significativamente, a ação promotora de crescimento e aumento na produtividade da soja.

Palavras-chave: Estresse oxidativo; *Glycine max*; Manejo; Microrganismos benéficos; Pulverização foliar; Metabolismo vegetal.

ABSTRACT

GONÇALVES, Grazielle Cieslinski. M.S. Universidade do Estado de Mato Grosso, Abril de 2022. **Application of doses of boron and *Trichoderma atroviride* in soybean cultivation in the Southern Amazon.** Adviser: Marco Antonio Camillo de Carvalho. Co-adviser: Guilherme Ferreira Ferbonink

Soybeans are prominent among the legumes produced due to their high nutritional value and use in various sectors of agribusiness. However, in recent years, due to the high demand of the productive sector and the growth of grain consumption and the difficulty of expanding new areas, it has been necessary to integrate new management techniques that increase the productivity of the culture. Thus, seeking alternatives for easy and efficient practices in agriculture, the present study aimed to analyze the ability of *Trichoderma atroviride*, applied at different phenological stages, to act as a growth promoter and to protect plants in soybean, associated with doses of boron. The experiment was carried out in a randomized block design, in a 4 x 5 factorial scheme, with applications of *Trichoderma atroviride* carried out at three different times (V5, R1 and R5) and no application (SEM), and five doses of boron (0, 500, 1000, 1500 and 2000 g of B ha⁻¹), where the applications were carried out foliar pathway. The research was conducted at Fazenda Bela Vista, in the municipality of Alta Floresta-MT, a region that integrates the Brazilian Southern Amazon. In the first chapter the physiological response of the crop was evaluated and in the second chapter the effect of treatments on the vegetative and productive characteristics of the soybean crop was addressed. With the use of the microorganism associated with the micronutrient, the action as a plant protector was observed, minimizing the different stress conditions, where the best physiological performance of the plants was verified through the increase of metabolites that are essential for the growth and development of the culture. However, it was not possible to significantly observe the growth promoting action and increase in soybean productivity.

Key-words: Oxidative stress; *Glycine max*; Management; Beneficial microorganisms; Leaf spray; Vegetable metabolism.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A soja (*Glycine max L.*) pertencente à família Fabaceae, é uma planta originária da China, ocupando posição de destaque entre as leguminosas anuais produzidas no mundo, por caracterizar-se como uma das fontes mais importantes de proteína e óleo vegetal (EMBRAPA, 2020).

Nos últimos anos, devido ao aumento do consumo dos grãos e a dificuldade para abrir novas áreas agrícolas, tem sido necessário a implementação de novas tecnologias que propiciem um bom crescimento e desenvolvimento da soja (CERUTTI et al., 2019). Nesse cenário, podemos destacar a aplicação de micronutrientes na adubação e a utilização de microrganismos promotores de crescimento e protetores de plantas, que vem ganhando destaque na agricultura brasileira (HANSEL e OLIVEIRA, 2016).

Dentre os micronutrientes, o boro (B) tem um papel importante no crescimento e no desenvolvimento das plantas, atuando na síntese e estruturação da parede celular, metabolismo e transporte dos carboidratos e proteínas, bem como, agindo na divisão e diferenciação dos tecidos meristemáticos (SOUZA et al., 2010; RAIMUNDI et al., 2013). Além disso, o fornecimento adequado de boro tem minimizado os danos causados pelo estresse oxidativo, ativando mecanismos enzimáticos de defesa da planta (AYDIN et al., 2019).

A deficiência ou toxicidade de boro na planta pode desencadear alterações bioquímicas, seja no tamanho das folhas, na paralisação do crescimento apical e/ou restringindo o crescimento do sistema radicular. Desse modo, o boro pode incrementar alterações fisiológicas relacionadas ao acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ERO) e o aumento da peroxidação lipídica, o que ocasiona a morte celular da planta (CAKMAK e RÖMHELD, 1997; KOSHIBA et al., 2009; SONG et al., 2019).

Dessa maneira, a aplicação de boro tem se expandido na agricultura (DA SILVA et al., 2021), onde uma estratégia que possibilite melhora produtiva da cultura pode estar na aplicação desse micronutriente associado ao *Trichoderma* sp., sendo que este pode aumentar a tolerância das plantas reduzindo os estresses provocados pela fitotoxicidade melhorando o uso do nutriente (LANDI et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2019).

Nessa perspectiva, o uso de microrganismos pertencentes ao gênero *Trichoderma* tem demonstrado grande importância na agricultura (DINIZ, 2017), onde tem se destacado a realização de pesquisas com as espécies *T. harzianum*, *T. virens*, *T. viride*, *T. asperellum* e *T. atroviride* (MONTE et al., 2019). Nesses estudos foi verificada sua atuação como agente de controle biológico, por meio de diversos mecanismos, podendo ser introduzidos antes ou no momento da semeadura da cultura no campo (GUARESCHI et al., 2012). Recentemente, esses microrganismos têm sido relacionados à produção de hormônios ou fatores de crescimento, proporcionando maior eficiência no uso de alguns nutrientes, aumentando a sua disponibilidade e absorção pela planta (LUCON, 2009). Além disso, o *Trichoderma* sp. tem sido relacionado à produção de metabolitos bioativos capazes de induzir a resistência da planta contra estresses e melhorando o seu desempenho metabólico (MARRA et al., 2019).

Nesse sentido, informações indicando que o *Trichoderma* sp. pode atenuar o excesso da absorção de boro ou contribuir para melhorar a absorção em solos deficientes, ainda são desconhecidas, bem como, não se tem informações de como é o efeito da associação entre *Trichoderma* e boro em plantas de soja.

Diante do exposto, a hipótese deste estudo é que o boro associado com o *Trichoderma atroviride* poderá promover a promoção de crescimento e o aumento da produtividade, bem como, a atuação como protetor de planta minimizando os efeitos deletérios das condições estressantes, afim de incrementar a produção de elementos essenciais para o desempenho metabólico, melhorando o desenvolvimento da soja. Com isso, o objetivo desse estudo foi avaliar o efeito de doses de boro em associação com *Trichoderma atroviride* aplicado em diferentes estádios fenológicos.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYDIN, M.; TOMBULOGLU, G.; SAKCALI, M.S.; HAKEEM, K.R.; TOMBULOGLU, H. (2019) Boron alleviates drought stress by enhancing gene expression and antioxidant enzyme activity. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition** 19: p. 545–555.

CAKMAK, I.; RÖMHELD, V.R (1997) Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. **Plant and Soil**. p. 71-83. 1997.

CERUTTI, P. H.; DOS SANTOS, M.; WILLE, C. L. Adubação foliar com boro em sistema de plantio direto na cultura da soja. **Revista Científica Rural**, v. 21, n. 1, p. 1-11, 2019.

DA SILVA, J. L. F.; PRADO, R. M.; DE SOUZA JÚNIOR, J.P.; TENESACA, L. F. L.; DA SILVA, D. L.; JUNIOR, J. S. P. Feasibility of Silicon Addition to Boron Foliar Spraying in Cauliflowers. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, p. 1-8, 2021.

DINIZ, G. L.; COSTA, C. C.; BOMFIM, M. P. Produção de mudas de cultivares de melancia sob estresse salino e espécies de *Trichoderma spp.* Universidade Federal de Campina Grande. p. 49, 2017.

EMBRAPA. **História da soja.** Disponível em: <www.embrapa.br/web/portal/soja/cultivos/soja1/historia>. Acesso: 05 ago. de 2020.

GUARESCHI, R.; PERIN, A.; MACAGNAN, D.; TRAMONTINI, A.; GAZOLLA, P. R. Emprego de *Trichoderma spp.* no controle de *Sclerotinia sclerotiorum* e na promoção de crescimento vegetativo nas culturas de girassol e soja. **Global Science and Technology**, v.5, n.2, 2012.

HANSEL, F. D.; OLIVEIRA, M. L. Importância dos micronutrientes na cultura da soja no Brasil. **Informações Agrônomicas**. n. 153, p. 1-8, 2016.

KOSHIBA, T.; KOBAYASH, I M.; MATOH, T (2009) Boron deficiency. **Plant Signaling and Behavior** 4: p. 557-558

LANDI, M.; DELG' INNOCENTI, E.; PARDOSSI, A.; GUIDI, L. Antioxidant and photosynthetic responses in plants under boron toxicity: a review. **American of Journal Agricultural and Biological Sciences**, v. 7, p. 255-270, 2012.

MARRA, R.; LOMBARDI, N.; D'ERRICO, G.; TROISI, J.; SCALA, G.; VINALE, F.; WOO, S.L.; BONANOMI, G.; LORITO, M. (2019) Application of *Trichoderma* strains and metabolites enhances soybean productivity and nutrient content agricultural and environmental chemistry application of *Trichoderma* strains and metabolites enhances soybean productivity and nutrient content. **Journal Agricultural Food Chem** 67:1814–1822. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b06503>

MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; DA SILVA, J. C. Trichoderma: uso na agricultura. In: MONTE, E.; BETTIOL, W.; HERMOSA, R. Trichoderma e seus mecanismos de ação para o controle de doenças de plantas. **Embrapa Soja-Livro científico (Alice)**, p. 181-199. 2019.

OLIVEIRA, L. A. B de. Desenvolvimento inicial de mudas de Schizolobium parahyba var. amazonicum sob doses de nitrogênio, fósforo e boro com aplicação de trichoderma spp. Universidade Estadual de Goiás (Dissertação de mestrado). 2019.

RAIMUNDI, D. L.; MOREIRA, G. C.; TURRI, L. T. Modos de aplicação de boro na cultura da soja. **Revista Cultivando o Saber**, v. 6, n. 2, p. 112-121, 2013.

SONG, B.; HAO, X.; WANG, X.; YANG, S.; DONG, Y.; DING, Y.; WANG, Q.; WANG, X.; ZHOU, J. (2019) Boron stress inhibits beet (*Beta vulgaris* L.) growth through influencing endogenous hormones and oxidative stress response. **Soil Science and Plant Nutrition** 65: p.346–352.

SOUZA, R. R de.; PAIVA, P. D. O.; DE CARVALHO, J. G. ALMEIDA, E. F. A.; BARBOSA, J. C. V. Doses de boro no desenvolvimento de copo-de-leite em solução nutritiva. **Ciência e Agrotecnologia**. 2010, 34.6: p.1396-1403.

3. CAPÍTULOS

3.1. CARACTERÍSTICAS BIOQUÍMICAS E FISIOLÓGICAS DE PLANTAS DE SOJA SUBMETIDAS À DOSES DE BORO E INOCULAÇÃO DE *Trichoderma atroviride*

¹ Artigo submetido no periódico "PLOS ONE".

Resumo – (Características bioquímicas e fisiológicas de plantas de soja submetidas à doses de boro e inoculação de *Trichoderma atroviride*). Na busca de tecnologias eficientes e de custo baixo, a utilização de microrganismos e micronutrientes tem se mostrado uma alternativa interessante. A utilização de fungos como do gênero *Trichoderma* sp. e a fertilização adequada com o boro podem atuar no biocontrole e/ou como bioestimulante, desencadeando estímulos de defesa contra os danos deletérios às plantas. Neste contexto, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar o potencial da aplicação do *Trichoderma atroviride* em diferentes épocas, associado a doses de B, visando verificar a capacidade destes em promover e/ou proteger as plantas de soja a condições estressantes, e incrementando a produção e translocação de proteínas, carboidratos, compostos nitrogenados e pigmentos clorofilianos. O experimento foi conduzido no delineamento em blocos ao acaso em esquema fatorial 4 x 5, sendo os tratamentos constituídos pela combinação da aplicação do *Trichoderma atroviride* em três épocas (V5, R1 e R5) e não aplicação (SEM) e cinco doses de boro (0, 500, 1000, 1500 e 2000 g de B ha⁻¹), as aplicações foram realizadas via foliar. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, e quando significativos, realizou-se o estudo de regressão polinomial para o fator quantitativo (doses de B) e aplicado o teste de Tukey para o fator qualitativo (época de aplicação). O uso do microrganismo e de B minimizou os danos ocasionados pelos indicadores de estresse oxidativo, incrementando a absorção de nutrientes, aumentando a síntese e a translocação de açúcares, proteínas, compostos nitrogenados, pigmentos clorofilianos e feofitinas, assim promovendo melhorias no metabolismo vegetal.

Palavras-chave: *Glycine max*; Protetor de plantas; Adubação boratada; Estresse oxidativo; Sistema antioxidante; Agentes biológicos.

Abstract – (Biochemical and physiological characteristics of soybean plants subjected to doses of boron and inoculation of *Trichoderma atroviride*). In the search for efficient and low-cost technologies, the use of microorganisms and micronutrients has proved to be an interesting alternative. The use of fungi such as the genus *Trichoderma* sp. and adequate fertilization with boron can act in biocontrol and/or as a biostimulant, triggering defense stimuli against deleterious damage to plants. In this context, the objective of this research was to evaluate the potential of the application of *Trichoderma atroviride* at different times, associated with doses of B, in order to verify their ability to promote and/or protect soybean plants under stressful conditions, and increasing production and translocation of proteins, carbohydrates, nitrogen compounds and chlorophyll pigments. The experiment was carried out in a randomized block design in a 4 x 5 factorial scheme, with treatments consisting of a combination of application of *Trichoderma atroviride* at three times (V5, R1 and R5) and no application (SEM) and five doses of boron (0, 500, 1000, 1500 and 2000 g of B ha⁻¹), the applications were carried out via foliar. The data obtained were submitted to analysis of variance, and when significant, a polynomial regression study was carried out for the quantitative factor (doses of B) and Tukey's test was applied for the qualitative factor (time of application). The use of the microorganism and B minimized the damage caused by indicators of oxidative stress, increasing the absorption of nutrients, increasing the synthesis and translocation of sugars, proteins, nitrogen compounds, chlorophyll pigments and pheophytins, thus promoting improvements in plant metabolism.

Key-words: *Glycine max*; Plant protector; Boron fertilization; Oxidative stress; Antioxidant system; Biological agents.

Introdução

O ambiente é caracterizado por diversas relações entre estes e os seres presentes, no qual cada espécie é induzida e influenciada por inúmeras condições, respondendo de diferentes maneiras (CHOUDHURY et al., 2013).

Fatores como salinidade, poluição, seca, temperatura excessiva, radiação ultravioleta, ataque de patógenos, agroquímicos e a toxicidade de uma maneira geral, podem ocasionar o estresse oxidativo em plantas. Para tanto, reações fisiológicas do metabolismo vegetal, tais como fotossíntese e respiração, também contribuem para a produção das espécies reativas de oxigênio, que podem afetar vários processos (CAVERZAN et al., 2016; XIE et al., 2019).

Dessa maneira, as espécies reativas de oxigênio (ERO) são moléculas de algumas reações metabólicas que ocorrem nos vegetais. Com isso, nas plantas, as ERO ocorrem em condições estressantes, onde estas são moléculas que mediam a sinalização intracelular de respostas fisiológicas e biológicas (RECZEK e CHANDEL, 2015). As principais formas de ERO são os radicais superóxido (O_2^-), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), radicais hidroxila (OH^-) e oxigênio singlete (1O_2), o que pode afetar as estruturas celulares (HOSSAIN et al., 2015; TRCHOUNIAN et al., 2016; KALIA et al., 2017).

A produção desses radicais ocorre nos cloroplastos, peroxissomos, mitocôndria, apoplastos, parede celular e na membrana plasmática (DAS e ROYCHOUDHURY, 2014). Nessa perspectiva, quando as ERO são produzidas em níveis elevados, podem acometer a morte celular por peroxidação de lipídios da membrana, oxidação de proteínas, danos ao DNA e RNA e inibição de enzimas. Por sua vez, quando a produção ocorre em baixas quantidades estes atuam como moléculas sinalizadoras para ativação do sistema de defesa contra os estresses na planta (MITTLER, 2017).

Entretanto, as plantas possuem um sistema de defesa antioxidante caracterizados como sistema enzimático e não enzimático que possibilitam a eliminação das ERO, além de protegerem contra danos oxidativos deletérios (KAYIHAN et al., 2016). Portanto é importante compreender o estresse oxidativo, a fim de viabilizar técnicas que tornem as plantas mais resistentes às condições que lhe são impostas.

Nessa perspectiva, a utilização de micronutrientes é essencial, especialmente alguns deles como boro, pois este pode minimizar os danos provocados pelo estresse oxidativo, além de desencadear os mecanismos enzimáticos de defesa das plantas (AYDIN et al., 2019). Tem que se considerar, que se houver deficiência ou toxicidade do micronutriente, isso pode acarretar o aumento do estresse oxidativo (FU et al., 2011; JIA et al., 2017; REN et al., 2019).

Espécies de *Trichoderma* têm sido estudadas e utilizadas como agentes de biocontrole de fitopatógenos, bem como bioestimulantes, na solubilização e disponibilização de nutrientes e na promoção do crescimento das espécies vegetais de interesse humano (CONTRERAS-CORNEJO et al., 2009; HERMOSA et al., 2012; WOO et al., 2014). Além disso, tem se observado estímulos de defesas das plantas contra os danos bióticos e abióticos, no qual, o *Trichoderma* sp. consegue suportar maiores níveis de ERO que outros fungos não toleram (MORÁN-DIEZ et al., 2010; SAMOSLKI et al., 2012).

Nesse contexto, a hipótese desse estudo é que o *Trichoderma atroviride* associado ao boro mediam a proteção das plantas contra as condições estressantes, bem como, melhorias em relação à produção de elementos essenciais que possibilitam o crescimento e desenvolvimento adequado das plantas. Com isso, o objetivo do estudo foi avaliar os efeitos da inoculação de *Trichoderma atroviride* em diferentes épocas e em associação a doses de boro aplicadas via pulverização foliar em relação à produção e à translocação de proteínas, carboidratos, compostos nitrogenados, pigmentos clorofilianos e feofitinas.

Material e Métodos

O estudo foi conduzido na propriedade rural denominada Fazenda Bela Vista (Figura 1) localizada nas coordenadas geográficas 10°02'32" de latitude Sul e 56°06'31" de longitude Oeste, no município de Alta Floresta, estado de Mato Grosso, região localizada dentro da Amazônia Meridional.



Figura 1. Localização da propriedade de estudo destacando a área experimental (Autor, 2021).

O município tem como característica o clima tropical chuvoso (tipo Am), segundo Koppen, com duas estações climáticas distintas, sendo uma chuvosa (setembro a abril) e a outra seca (maio a agosto), apresentando precipitação média anual de 2.243 mm (ALVARES et al., 2014), com temperaturas em torno de 18 a 40 °C, expressando médias em torno de 26 °C.

Os dados climáticos durante o período de condução da pesquisa foram obtidos na estação meteorológica da UNEMAT localizado no Campus 1, cujo a distância até a área experimental é de 21 km, onde foram coletados dados de temperatura média, umidade relativa média e precipitação total mensal (Figura 2). No entanto, na safra 2020/21 a região foi afetada pela instabilidade do clima especialmente no momento da colheita, o que não comprometeu o desempenho produtivo da cultura, onde segundo o histórico das condições edafoclimáticas para a região Norte Mato-grossense as condições foram consideradas ideais para o cultivo da soja durante o período (CONAB, 2021). Neste contexto, a cultura apresenta a faixa de temperatura ideal para o desenvolvimento entre 20

°C e 30 °C, cujo a umidade relativa superior a 60%, e o consumo de água é de 400 a 800 mm durante todo o ciclo (CAMPO, 2005; FARIAS et al., 2007).

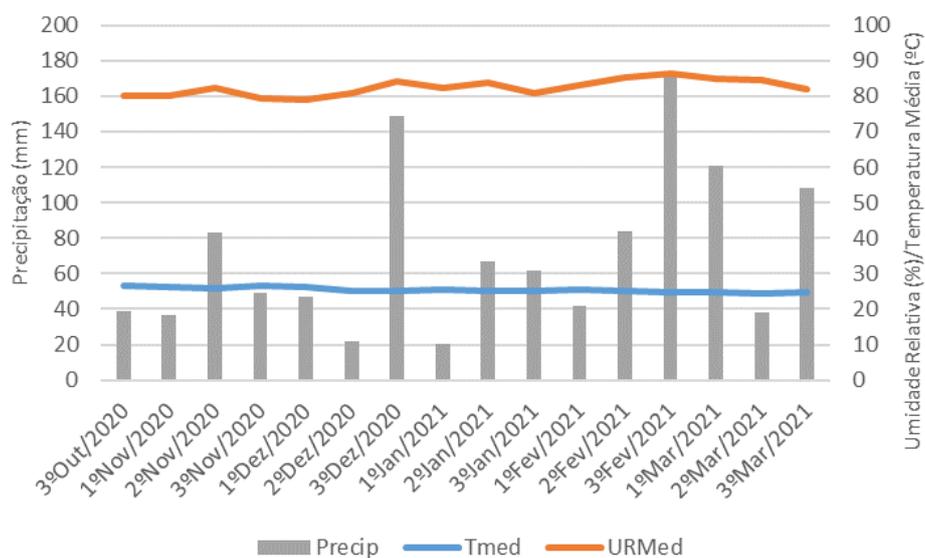


Figura 2. Valores decendial de temperatura média, umidade relativa média e precipitação pluviométrica registrada na área experimental durante todo ciclo da cultura. Alta Floresta-MT, (2022).

Delineamento experimental

O experimento foi conduzido no delineamento de blocos ao acaso no esquema fatorial de 4 x 5, sendo os tratamentos compostos pela associação da aplicação de *Trichoderma atroviride* em três épocas do estágio fenológico da cultura, sendo o estágio vegetativo com 5 nós (V5), estágio de início do florescimento (R1) e no estágio reprodutivo de formação e enchimento dos grãos (R5) e a não aplicação (SEM), associado a cinco doses de boro (0, 500, 1000, 1500 e 2000 g de B ha⁻¹), onde essas doses são usualmente aplicadas via foliar na cultura (CALONEGO, 2010; ROSSONI et al., 2017; VARANDA, 2017), cujo os tratamentos foram constituídos com 4 repetições cada.

As parcelas foram compostas por 6 linhas de cinco metros, espaçadas em 0,45 m. Para área útil de cada parcela foram consideradas as quatro linhas centrais, desprezando 0,5 m em ambas as extremidades.

O solo da área experimental é classificado como LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico, de classe textural argilo-arenosa, de acordo com os critérios descritos pela EMBRAPA (2018).

Anteriormente a instalação da pesquisa foram coletadas amostras de solo da área experimental na camada de 0-0,20 m que formaram uma amostra composta, a qual foi enviada para análise em laboratório. As propriedades físicas e químicas em relação à fertilidade do solo estão descritas na Tabela 1:

Tabela 1. Resultado da análise química e granulometria do solo na camada de 0-0,20 m de profundidade da área experimental. Alta Floresta – MT, (2021).

Química									
pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	M.O	T	V
Cacl ₂									(SB)
-----mg.dm ⁻³ -----	-----cmol _c .dm ⁻³ -----				g.dm ⁻³	cmol _c .dm ⁻³	%		
5,3	3,1	45,6	2,49	0,75	0	2,5	18,34	5,8	57,3
Micronutrientes e enxofre									
mg.dm ⁻³									
Zn	Cu	Fe	Mn	B	S				
1,5	1,6	191,8	50,8	0,31	15,8				
Física									
Areia			Silte				Argila		
-----g.kg ⁻¹ -----									
476			85				437		

Obs: Análises realizadas seguindo a metodologia da Embrapa (1979). T: Capacidade de troca de cátions a pH 7; V: Saturação por bases; M.O: Matéria orgânica. Fonte: Laboratório Agropecuário Plante Certo.

É possível observar através da análise de solo (Tabela 1), que o teor do micronutriente B segundo Alvarez et al. (1999), se encontra em baixa disponibilidade (0,31 mg dm⁻³), onde este encontra-se próximo ao limite inferior médio (0,36 mg dm⁻³), bem como, o teor de matéria orgânica (18,34 g dm⁻³), que segundo estes mesmos autores, está próximo ao nível de média disponibilidade, cujo limite mínimo é de 20,1 g dm⁻³.

A área experimental é cultivada em sistema de semeadura direta desde o ano de 2016, sendo realizada anualmente a sucessão soja/milho. A semeadura da cultura ocorreu em 23 de outubro de 2020, sendo utilizada a cultivar BMX DESAFIO RR 8473 RSF, no espaçamento de 0,45 m e visando a obtenção 17 plantas por metro linear. As sementes foram tratadas com bactérias, sendo o produto comercial utilizado como fonte de *Bradyrhizobium japonicum* o inoculante Masterfix®, estirpes SEMIA 5019 e SEMIA 5079 (5x10⁹ de células viáveis por g ou mL), e como fonte de *Azospirillum brasilense* o Masterfix Gramíneas®, estirpes Abv5 e Abv6 (2x10⁸ células viáveis por mL).

A adubação de semeadura realizada foi calculada de acordo com os resultados da análise de solo e conforme recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes de Minas Gerais, 5ª aproximação (ALVAREZ et al., 1999), onde foram aplicados 250 kg ha⁻¹ de fosfato monoamônico (MAP) (10 a 12% de N e 48 a 52% de P₂O₅) através da prática de manejo a lanço, e 140 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (KCl – 60% de K₂O) aplicado em cobertura no estágio vegetativo V4. Os tratamentos culturais e fitossanitários foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para a cultura da soja.

Aplicações de boro e *Trichoderma* sp.

As aplicações de boro na cultura da soja ocorreram via foliar no estágio fenológico R1 (início do florescimento) com auxílio de pulverizador manual, onde calibrou-se uma pressão constante determinando 7 segundos para percorrer os 5 metros de cada linha. A solução contendo boro, se caracterizou pela diluição do produto constituído de boro (ácido bórico - 17% de B), sendo aplicados 300 mL de calda por parcela (equivalente a 222 L ha⁻¹) e a concentração de acordo com cada dose de B.

Os tratamentos com *Trichoderma atroviride* constitui-se da formulação das soluções utilizando conídios isolado pertencente ao Laboratório de Microbiologia do Campus de Alta Floresta - UNEMAT. Para isso, primeiramente houve a produção de esporos dos fungos em colônias no meio de cultura constituído por batata-dextrose-ágar (BDA) em placas de Petri (90 mm Ø) as quais foram mantidas em estufa incubadora B.O.D (Biological Oxygen Demand), cujo a temperatura era constante de 25 °C com variação de ±1°C no fotoperíodo de 12 horas claro/escuro durante 20 dias.

Posteriormente realizou-se a multiplicação do isolado do *Trichoderma* em grãos de milho, onde foi pesado 50 g de grãos que foram depositados em um recipiente de vidro, no qual, posteriormente foi adicionado 25 mL de água destilada e em seguida tampado para realizar a esterilização do material em autoclave pelo período de 25 minutos a 121 °C. Logo após, realizou-se em câmara de fluxo laminar, a abertura dos recipientes sendo transferido cinco discos de micélio fúngico proveniente do meio de cultura do isolado de *Trichoderma* crescido em meio de BDA. Posteriormente os recipientes foram

armazenados em estufa incubadora B.O.D com controle de temperatura a 25 °C e luminosidade permanecendo 12 horas no fotoperíodo claro/escuro por 12 horas durante 5 dias para ocorrer a colonização pelo fungo no milho (STEFFEN et al., 2019).

Após esse período, realizou-se a formulação da suspensão no qual foi adicionado 1.000 mL de água destilada no recipiente contendo os esporos, onde se formulou a diluição e posteriormente a contagem dos conídios. A partir, dessa suspensão realizou-se a contagem formulando uma solução de 10 mL, contendo 9 mL de água destilada e tomando a alíquota de 1 mL da suspensão anterior, e em seguida foi utilizado uma alíquota de 100 µl da solução de esporos, sendo depositada na câmara de Neubauer realizando a observação em microscópio óptico e contagem dos esporos.

A contagem dos esporos foi realizada no compartimento C (1,0mm²) na câmara de Neubauer (Figura 3), e após a contagem foram realizados os cálculos conforme a equação descrita por Pinto et al. (2011) onde:

$$\text{Conídio mL}^{-1} = \{[(\text{Campo 1} + \text{Campo 2}) / 2] \times 2,0 \times 10^7\}$$

Onde temos: Campo 1= (E1+E2+E3+E4+E5) e o Campo 2= (E1+E2+E3+E4+E5).

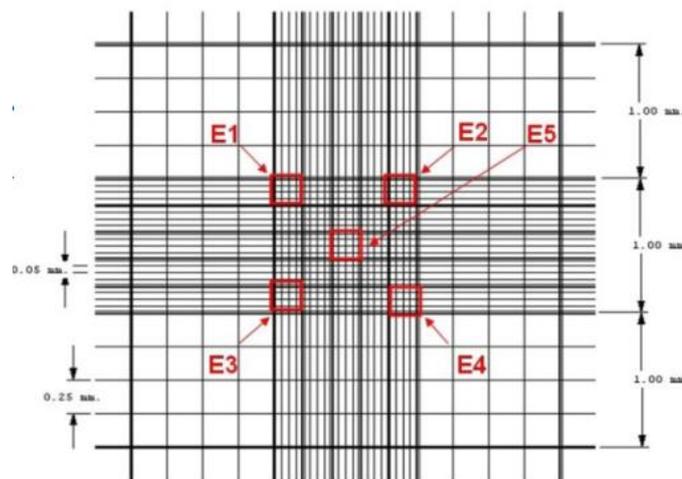


Figura 3. Esquema demonstrando a câmara de Neubauer com área dos subcompartimentos em vermelho para a contagem dos conídios de *Trichoderma atroviride*. Fonte: Pinto et al. (2011).

Nos tratamentos com *Trichoderma* as suspensões foram preparadas seguindo a quantidade padrão 2×10^7 de conídios por mL, no qual, foram formuladas 1.000 mL da solução efetuando as diluições necessárias.

Após o preparo da suspensão com *Trichoderma* realizou-se as aplicações de 300 mL da solução por parcela (equivalente a 222 L ha^{-1}), onde os tratamentos consistiu-se em três épocas do estágio fenológico da cultura da soja, sendo as aplicações realizadas no estágio vegetativo com 5 nós (V5), estágio reprodutivo de início do florescimento (R1) e no estágio reprodutivo de formação e enchimento dos grãos (R5) e a não aplicação.

Análises bioquímicas

As análises bioquímicas consistiram-se em avaliar os teores de açúcares totais, sacarose, aminoácidos, ureídeos totais, ácido alantóico, clorofila *a*, clorofila *b*, carotenoides e feofitina *a*, feofitina *b*. Para as análises bioquímicas realizou-se a coleta de folhas no estágio reprodutivo de grão verde (R6), onde se coletou as folhas completamente desenvolvidas no ápice do ramo principal de 12 plantas da área útil de cada parcela, metodologia utilizada por De Marcos Lapaz et al. (2020). Posteriormente, as folhas coletadas foram encaminhadas ao Laboratório de Fitotecnia da Universidade do Estado de Mato Grosso Campus de Alta Floresta, onde foram higienizadas com água deionizada e detergente neutro, sendo retiradas as nervuras do material vegetal e em seguida foram secas com papel toalha (PROPEL) e após conservadas em papel alumínio e saquinhos plásticos zip lock (14 x 20 cm) para o armazenamento em ultrafreezer (-80 °C). Já nas análises dos grãos, após a colheita e limpeza, foram pesados 50 g dos grãos, de cada parcela, para as análises bioquímicas e de proteína total, onde as amostras foram triturados em moinho tipo Willey.

Extração dos indicadores de estresses oxidativos

Para a avaliação do estresse oxidativo, que caracteriza a produção de malondialdeído (MDA) e de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) foram utilizados os métodos de Heath e Packer (1968) e Alexieva et al. (2001) respectivamente. Onde inicialmente foi realizado a extração do material vegetal via foliar congelado

e armazenado no ultrafreezer na temperatura de -80 °C, sendo posteriormente realizada a maceração com nitrogênio líquido em almofariz de porcelana e seguida da pesagem de 0,4 g do material vegetal sendo adicionado 4 mL de ácido tricloroacético 0,1%. O material foi centrifugado a 6.000 rpm a 4 °C por 60 minutos.

Determinação da peroxidação lipídica por quantificação de Malondialdeído (MDA)

Para a determinação de malondialdeído seguiu-se o método proposto por Heath e Packer (1968), onde pipetou-se 200 µL do sobrenadante que foi separado em tubos eppendorf junto a 1 mL da solução de ácido tricloroacético (TCA 20%) e ácido tiobarbitúrico (TBA 0,5%). As amostras foram incubadas em estufa a 95 °C por 30 minutos, após este período, foram transferidas para o banho de gelo durante 10 minutos e então centrifugadas por 15 minutos. O preparo da amostra considerada como branco caracterizou-se na substituição da alíquota do sobrenadante das amostras por 200 µL do ácido tricloroacético 0,1%, e após foram seguidos os demais passos da metodologia. No qual, posteriormente foram realizadas as leituras das amostras em espectrofotômetro UV nos comprimentos de onda em 535 e 600 nanômetros (nm). O cálculo foi realizado usando a fórmula proposta por Heath e Packer (1968):

$$C = [\text{ABS (535-600)} / 155.000] \times 10^6$$

Determinação do peróxido de hidrogênio (H_2O_2)

O conteúdo de peróxido de hidrogênio foi determinado seguindo a metodologia proposta por Alexieva et al. (2001), onde a partir da pipetagem de 200 µL do sobrenadante transferido para tubos eppendorf, foi adicionado 200 µL da solução tampão fosfato (pH 7,5) e 800 µL do iodeto de potássio, que foram incubados por uma hora no banho de gelo em ambiente escuro. O branco foi preparado a partir da adição de 200 µL de ácido tricloroacético 0,1%, seguido dos demais passos do método. Após esse período realizou-se a leitura em espectrofotômetro UV no comprimento de onda de 390 nm.

A curva padrão foi preparada a partir da solução de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em tubos de ensaio seguindo as diluições nas proporções descritas no Quadro 1:

Quadro 1. Proporções das diluições para curva padrão da análise de peróxido de hidrogênio.

Volume de solução H_2O_2	Água deionizada
0 μ L	1000 μ L
5 μ L	995 μ L
7,5 μ L	992,5 μ L
10 μ L	990 μ L
12,5 μ L	987,5 μ L
15 μ L	985 μ L
20 μ L	980 μ L
40 μ L	960 μ L
60 μ L	940 μ L
80 μ L	920 μ L
100 μ L	900 μ L

Após a diluição da solução de peróxido de hidrogênio pipetou-se 200 μ L de cada ponto da curva e seguiu-se os demais passos que foram realizados nas amostras.

Extração de açúcares redutores e compostos nitrogenados

A avaliação de açúcares redutores e compostos nitrogenados foi realizada com os métodos de Dubois et al. (1956), Van Handel (1968), Vogels e Van Der Drift (1970) e Yemm et al. (1955).

Para a extração realizou-se a pesagem de 1,0 g de material vegetal foliar e 0,5 g do grão moído, adicionando 10 mL da solução MCW que é constituída por metanol 60%, clorofórmio 25% e água deionizada 15%, sendo o material macerado dentro do tubo falcon. Posteriormente foi realizado a centrifugação em 6.000 rpm a 4 °C por 20 minutos, após esse processo aguardou-se uma semana para suceder-se a extração de 4 mL do sobrenadante para outro tubo adicionando 1,5 mL de água deionizada e 1 mL de clorofórmio para posterior a 24 horas realizar as análises.

Determinação de açúcares totais

A determinação de açúcares totais foi realizada com o auxílio da metodologia de Dubois et al. (1956), no qual, a pipetagem foi respectivamente de 50 µL e 20 µL do sobrenadante dos extratos via foliar e grãos que foram separados em tubos de ensaio, onde foi adicionado apenas para as amostras foliares 450 µL de água deionizada, em seguida adicionou-se 500 µL de solução Fenol (5%), e por fim adicionou-se 2 mL de H_2SO_4 (100%). Posteriormente, realizou-se a homogeneização em vórtex, onde tampou-se os tubos com esfera de vidro e aguardou o resfriamento em temperatura ambiente. O preparo do branco caracterizou-se na substituição da alíquota do sobrenadante das amostras pela pipetagem de água deionizada na proporção de 50 µL para as amostras foliares e 20 µL as de grãos, sucedendo-se os demais passos da metodologia. Após esse procedimento efetuou-se a leitura em espectrofotômetro UV no comprimento de onda de 490 nm. O preparo da curva padrão foi a partir da solução 1 mg/mL de sacarose seguindo da diluição em tubos eppendorf nas proporções descritas no Quadro 2:

Quadro 2. Proporções das diluições para curva padrão da análise de açúcares totais.

Solução Sacarose	Água deionizada
100 µL	900 µL
200 µL	800 µL
300 µL	700 µL
400 µL	600 µL
500 µL	500 µL
600 µL	400 µL
700 µL	300 µL
800 µL	200 µL
900 µL	100 µL
1000 µL	0 µL

Após a diluição da solução de sacarose tomou-se as alíquotas de cada ponto da curva, seguindo os demais passos da metodologia.

Determinação de sacarose

A análise de determinação de sacarose foi realizada pelo método Van Handel (1968), seguindo a adição de 500 µL do sobrenadante dos extratos via foliar em tubos de ensaio, onde foram colocados em banho maria a 100 °C até

evaporar e obter 100 µL de alíquota. Já para as análises com grãos adicionou-se o material em tubos eppendorf realizando a diluição com 100 µL de sobrenadante e 400 µL de água deionizada homogeneizando para retirar 100 µL de alíquota para os demais procedimentos. Com isso, seguindo para as ambas as análises foi adicionado 100 µL de hidróxido de potássio (KOH 30%), posteriormente as amostras foram pré incubadas em estufa a 100°C durante 10 minutos. Após esse procedimento aguardou-se o resfriamento em temperatura ambiente, no qual, adicionou-se 3 mL da solução de antrona e homogeneização para realizar a incubação novamente na estufa a 40 °C durante 15 minutos, onde aguardou-se o resfriamento em temperatura ambiente. Para determinação da amostra em branco se substituiu a alíquota do sobrenadante pela adição de 100 µL de água deionizada e seguindo os demais passos do método. Nesse sentido, realizou-se a leitura em espectrofotômetro UV no comprimento de onda de 620 nm. O preparo da curva padrão caracterizou-se a partir da solução 1 g/L de sacarose, diluindo nas proporções descritas no Quadro 3:

Quadro 3. Proporções das diluições para curva padrão da análise de sacarose.

Solução Sacarose	Água deionizada
10 mL	90 mL
20 mL	80 mL
30 mL	70 mL
40 mL	60 mL
50 mL	50 mL
60 mL	40 mL
70 mL	30 mL
80 mL	20 mL
90 mL	10 mL
100 mL	0 mL

Após a diluição da solução de sacarose retirou-se 100 µL de cada ponto da curva, posterior seguiu-se os demais passos da amostra para confecção da curva padrão.

Determinação de aminoácidos

A determinação seguiu o protocolo de Yemm et al. (1955), onde se realizou a pipetagem de 150 µL de sobrenadante dos extratos via foliar e grãos em tubos de ensaio, e adicionou-se 850 µL de água deionizada. Posteriormente

adicionou-se 500 µL da solução de citrato de sódio (0,2 M), 200 µL de ninidrina 5% e 1 mL de cianeto de potássio (KCN 0,0002M) onde foi homogeneizado e tampado os tubos de ensaio com esferas de vidro. Com isso, as amostras foram incubadas na estufa a 100 °C durante 20 minutos, e posteriormente realizou-se o resfriamento em água corrente por 10 minutos para adicionar 1 mL de álcool etílico 60%. Para o branco pipetou-se 150 µL de água deionizada e assim seguindo os demais passos do método. A partir disso, realizou-se a leitura em espectrofotômetro UV no comprimento de onda de 570 nm. A curva padrão consistiu no preparo da solução de glicina (100%) com a concentração de 100 mg/100 mL, sendo diluído nas proporções descritas no Quadro 4:

Quadro 4. Proporções das diluições para curva padrão da análise de aminoácidos.

Solução Glicina	Água deionizada
1 mL	9 mL
2 mL	8 mL
3 mL	7 mL
4 mL	6 mL
5 mL	5 mL
6 mL	4 mL
7 mL	3 mL
8 mL	2 mL
9 mL	1 mL
10 mL	0 mL

Após a diluição da solução de glicina retirou-se 50 µL de cada ponto da curva, posterior seguindo os demais passos da amostra para confecção da curva padrão.

Determinação de ureídeos totais

A análise foi realizada conforme o roteiro de Vogels e Van Der Drift (1970), com base na adição de 250 µL do sobrenadante e 750 µL de água deionizada, onde pipetou-se 250 µL de hidróxido de sódio (NaOH 0,5 M), 20 µL de fenilhidrazina encaminhando as amostras para incubar em estufa a 100 °C durante 8 minutos e em seguida deixando resfriar em temperatura ambiente. Após esse procedimento foi adicionado 250 µL de ácido clorídrico (HCl 0,65 N)

e incubando novamente na estufa a 100 °C durante 4 minutos, onde aguardou o resfriamento em temperatura ambiente por aproximadamente 10 minutos. Após isso, adicionou-se 250 µL de tampão fosfato e 250 µL de fenilhidrazina (0,33%) mantendo por 5 minutos em temperatura ambiente e resfriando em gelo durante 5 minutos, em seguida foi pipetado 1,25 mL de ácido clorídrico concentrado (HCl 37%) e 250 µL de ferricianeto de potássio ($C_6N_6FeK_3$), onde foi homogeneizado as amostras em todos os passos da metodologia. O branco foi preparado através da substituição de 250 µL do sobrenadante por água deionizada seguida dos demais passos. A partir desses procedimentos aguardou-se 15 minutos o resfriamento em temperatura ambiente e realizou-se a leitura em espectrofotômetro UV no comprimento de onda de 535 nm. A curva padrão caracterizou-se na diluição da solução de alantoína 0,5 mM nas proporções descritas no Quadro 5:

Quadro 5. Proporções das diluições para curva padrão da análise de ureídeos totais.

Solução Alantoína	Água deionizada
0 µL	750 µL
25 µL	725 µL
50 µL	700 µL
100 µL	650 µL
150 µL	600 µL
200 µL	550 µL
250 µL	500 µL

Após a diluição da solução de alantoína 0,5mM retirou-se 250 µL de cada ponto da curva, posterior seguindo os demais passos da amostra para confecção da curva padrão.

Determinação de ácido alantóico

A análise seguiu o método de Vogels e Van Der Drift (1970), no qual, realizou-se a adição de 250 µL do sobrenadante e 750 µL de água deionizada, onde foi adicionado 250 µL de ácido clorídrico (HCl 0,65 N) incubando na estufa a 100 °C durante 4 minutos, após esse procedimento aguardou-se o resfriamento em temperatura ambiente por aproximadamente 10 minutos. A partir disso, adicionou-se 250 µL de solução tampão fosfato e 250 µL de

fenilhidrazina (0,33%) mantendo por 5 minutos em temperatura ambiente e resfriando em gelo durante 5 minutos, em seguida foram adicionados 1,25 mL de ácido clorídrico concentrado (HCl 37%) e 250 µL de ferricianeto de potássio (C₆N₆FeK₃), homogeneizando as amostras em todos os passos da metodologia. O preparo do branco caracterizou-se com a substituição de 250 µL do sobrenadante por água deionizada e seguindo os demais passos. Com isso, aguardou-se 15 minutos para resfriamento em temperatura ambiente e realizando a leitura em espectrofotômetro UV no comprimento de onda de 535 nm.

Extração de clorofila (a, b), carotenoides e feofitina (a, b)

A avaliação de clorofila (a, b), carotenoides e feofitina (a, b) foi realizada segundo o método de Lichtenthaler (1987). Com isso, realizou-se a pesagem de 0,5 g de material vegetal que foi picotado e adicionado 5 mL de acetona 80%, posteriormente foi realizado a centrifugação em 6.000 rpm a 4 °C por 20 minutos, após esse processo aguardou-se 24 horas para se realizar as análises.

Determinação de clorofila (a, b), carotenoides e feofitina (a, b)

As determinações foram realizadas com a diluição do extrato com acetona 80%. Já o preparo do branco foi realizado com a pipetagem de acetona 80%, realizando a homogeneização em vórtex. Com isso, seguiu-se as leituras em espectrofotômetro UV nos comprimentos de onda de 470 nm (carotenoides), 647 nm (clorofila a), 653 nm (feofitina b), 663 nm (clorofila b) e 665 nm (feofitina a), posteriormente foram realizados os cálculos para determinação, usando a equação proposta por Lichtenthaler (1987):

$$C_a = 12.25 A_{663.2} - 2.79 A_{646.8}$$

$$C_b = 21.50 A_{646.8} - 5.10 A_{663.2}$$

$$C_{a+b} = 7.15 A_{663.2} + 18.71 A_{646.8}$$

$$C_{ph\ a} = 22.42 A_{665.4} - 6.81 A_{653.4}$$

$$C_{ph\ b} = 40.17 A_{653.4} - 18.58 A_{665.4}$$

$$C_{ph\ a + b} = 3.84 A_{665.4} - 33.36 A_{653.4}$$

$$C_{x+c} = \frac{1000 A_{470} - 1.82C_a - 85.02C_b}{198}$$

198

Em que: C_a - Clorofila *a*

C_b - Clorofila *b*

C_{a+b} - Clorofila total

C_{x+c} - Carotenoides total

$C_{ph\ a}$ - Feofitina *a*

$C_{ph\ b}$ - Feofitina *b*

Digestão sulfúrica para determinação da proteína total

A análise foi realizada segundo a metodologia de Silva et al. (2009), onde para o preparo das amostras os grãos foram moídos e secos em estufa com circulação de ar forçada a 60 °C durante 72 horas. Após esse procedimento foi pesado 100 mg e adicionou-se 1 g da mistura de sais ($K_2SO_4 + CuSO_4$), seguido do processo de digestão adicionando 3 mL de ácido sulfúrico e 1 mL de peróxido de hidrogênio. Posteriormente, as amostras foram mantidas na temperatura de 350 °C durante 3 horas.

Determinação de proteína total

A avaliação de proteína total consistiu-se na diluição do extrato obtido no processo de digestão, onde completou-se o volume para 50 mL de água deionizada. A partir disso, os demais procedimentos foram realizados no destilador Kjeldahl, sendo transferido todo o extrato obtido da digestão e conectando um béquer com 15 mL da mistura de indicadores de H_3BO_3 2% e adicionando 25 mL de NaOH 40%. Com isso, durante o processo de destilação aguardou-se completar 50 mL da solução de cada amostra, cujo a coloração dos indicadores de H_3BO_3 passou de vinho para verde, indicando o ponto de virada para se realizar a titulação. Já a titulação foi realizada adicionando a solução de HCl 0,05 mol L⁻¹, onde o ponto de viragem da titulação é alcançado quando se chega à cor vinho. O cálculo foi realizado seguindo a equação (1) para

determinar N total e para conversão utilizou-se a equação (2) com o fator 6,25 e a porcentagem para obtenção da proteína total:

$$\text{N-NH}_4 \text{ g kg}^{-1} = (V_b - V_a) \times 5 \quad (1)$$

$$\text{N-NH}_4 \text{ g kg}^{-1} \times 6,25 = \text{Proteína total g kg}^{-1} \quad (2)$$

Em que: V_a – Volume de HCl gasto no branco (mL)

V_b – Volume de HCl gasto na amostra (mL)

Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e teste F e quando significativos, foi realizado o estudo de regressão polinomial para o fator quantitativo e para o fator qualitativo foi realizado o teste de comparação de médias de Tukey, com o auxílio do software estatístico R Core Team (2021). Com isso, realizou-se o teste de correlação de Pearson ($p < 0,05$) por meio do software Sigma Plot.

Resultados e Discussão

Na Tabela 2 está apresentado o desdobramento da interação significativa entre as épocas de aplicação de *Trichoderma atroviride* e as doses de boro para os indicadores de estresse oxidativo “peróxido de hidrogênio” e “malondialdeído”.

Para peróxido de hidrogênio, na ausência de boro, a aplicação do *Trichoderma* em R1 produziu a maior média. Já na dose de 500 g ha⁻¹, não ocorreu diferença entre as épocas de aplicação. A partir de 1000 g ha⁻¹, a maior média foi observada na aplicação em V5, sendo que na dose de 1000 g ha⁻¹ não houve diferença da aplicação em R1. E finalmente nas doses de 1500 e 2000 g ha⁻¹, a aplicação em V5 diferiu apenas da não aplicação do *Trichoderma*.

Tabela 2. Desdobramento da interação significativa em função do teor foliar de peróxido de hidrogênio e malondialdeído sob aplicação de *Trichoderma atroviride* e doses de boro nas plantas de soja. Alta Floresta-MT, (2021).

Épocas	Doses de boro (g ha ⁻¹)				
	0	500	1000	1500	2000
Peróxido de hidrogênio (µMol g ⁻¹)					
SEM	2,93 b	3,23 a	3,13 b	2,93 b	2,76 b
V5	3,01 b	2,95 a	4,18 a	3,72 a	3,85 a
R1	3,83 a	3,08 a	3,64 ab	3,44 ab	3,34 ab
R5	3,22 b	3,12 a	3,37 b	3,26 ab	3,38 a
Malondialdeído (nMol de MDA g ⁻¹)					
SEM	7,32 a	6,55 a	6,11 a	7,28 a	6,65 a
V5	7,06 a	7,97 a	5,86 a	6,01 a	5,79 b
R1	6,58 a	6,52 a	5,91 a	6,18 a	7,75 a
R5	5,81 a	6,84 a	7,06 a	7,25 a	7,69 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Em relação às doses em cada época de aplicação, para a concentração de peróxido de hidrogênio, apenas na aplicação em V5 ocorreu o ajuste a um modelo matemático, sendo este quadrático (Figura 4). Com a aplicação das doses em V5, verificou-se uma diminuição da resposta até 1.142 g ha⁻¹ de B, e a partir dessa dose houve um aumento da concentração de peróxido de hidrogênio.

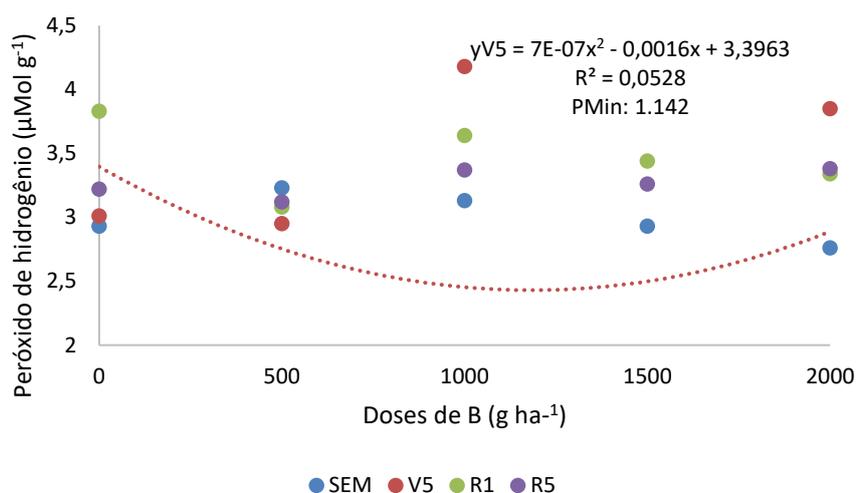


Figura 4. Desdobramento da interação entre as épocas de aplicação de *Trichoderma atroviride* e doses de boro para o teor de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em folhas de soja. Alta Floresta-MT, (2021).

Analisando-se o efeito das épocas de aplicação de *Trichoderma* nas doses crescentes de boro para o malondialdeído (Tabela 2), apenas o fornecimento de 2000 g ha⁻¹ promoveu diferença entre as épocas de aplicação, em que a menor média foi observada na aplicação em V5.

De acordo com o resultado do estudo de regressão para o malondialdeído, somente para V5 houve ajuste significativo a um modelo matemático, sendo este linear decrescente, ou seja, com o aumento das doses de B, houve a redução da peroxidação lipídica em V5 (Figura 5).

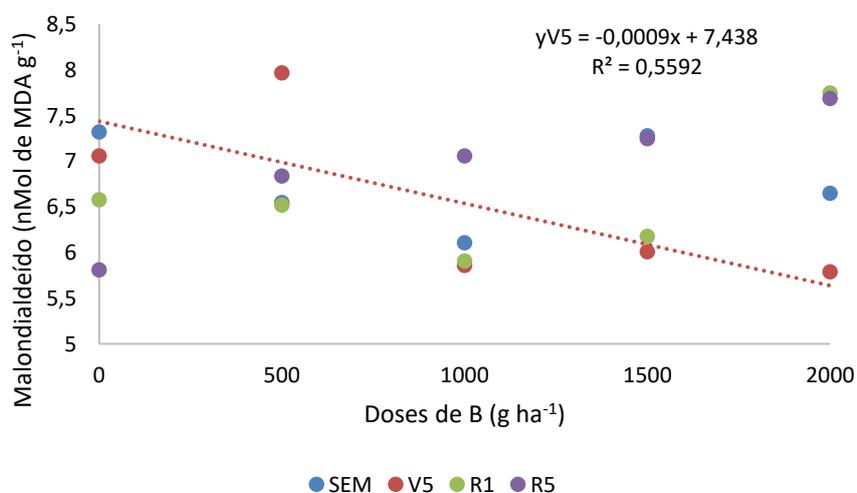


Figura 5. Desdobramento da interação entre as épocas de aplicação de *Trichoderma atroviride* e doses de boro para o teor de malondialdeído (MDA) em folhas de soja. Alta Floresta-MT, (2021).

O peróxido de hidrogênio atua como um elemento sinalizador e agente de estresse oxidativo, que atravessa membranas celulares e migra em compartimentos celulares, difundindo os danos ocasionado pelo estresse (BARBOSA et al., 2014; LANZA et al., 2021). O malondialdeído (MDA) é resultante da decomposição de ácidos graxos poli-insaturados, sendo indicador da peroxidação lipídica, em que níveis elevados das ERO podem causar lesões nas membranas celulares, necrose do tecido e possível morte celular programada (DEBONA et al., 2012).

Neste estudo, os níveis de peróxido de hidrogênio mantiveram-se entre 2,93 a 4,18 $\mu\text{Mol g}^{-1}$ MF, por sua vez os níveis de malondialdeído mostraram-se na faixa de 5,79 a 7,97 nMol g^{-1} MF. Alguns estudos que analisaram os indicadores de estresse oxidativo, verificaram que a soja submetida à aplicação de Níquel associado ou não a algum fungicida, apresentaram concentrações do H_2O_2 de 2,5 a 4,8 nMol g^{-1} MF e MDA de 15 a 50 nMol g^{-1} MF (BARCELOS et al., 2016). Para plantas de soja com resistência ao glifosato, foi relatado que o peróxido de hidrogênio variou entre 0,2 a 1,5 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF, porém, para peroxidação lipídica observaram-se níveis entre 9,3 e 38,4 nMol g^{-1} MF (AGOSTINETTO et al., 2016). Soares et al. (2017), trabalhando com aplicação de cinetina na soja, observou a redução do estresse nos diferentes estádios, obtendo teores no H_2O_2 entre 57,8 a 87,1 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF e para MDA 101,2 a 111,8 nMol g^{-1} MF.

O presente estudo (Tabela 2) demonstrou que o H_2O_2 apresentou maior concentração de 3,83 $\mu\text{Mol g}^{-1}$ MF na ausência da adubação boratada na fase reprodutiva, época em que ocorre a maior demanda nutricional. Porém na ausência do *Trichoderma*, as maiores doses de boro atuaram na minimização de H_2O_2 apresentando faixa de 2,76 a 2,93 $\mu\text{Mol g}^{-1}$ MF. Com isso, a peroxidação lipídica, se mostrou maior com concentração de 7,32 nMol g^{-1} MF na ausência de *Trichoderma* e boro, devido a deficiência nutricional ocasionando maiores níveis de ERO, enquanto na presença do microrganismo na fase vegetativa a fertilização de B contribuiu para a redução dos níveis de estresse com uma faixa de 5,79 nMol g^{-1} MF. Isso pode ser explicado devido a ocorrência de deficiência nutricional ou toxicidade de boro, onde tem se o aumento do estresse oxidativo, causando um desequilíbrio entre a produção de ERO e do sistema antioxidante

de defesa (enzimático e não enzimático), desencadeando danos oxidativos nas plantas (KIM et al., 2017; REN et al., 2019).

Observa-se (Tabela 2) que o *Trichoderma atroviride* teve uma influência na minimização do estresse oxidativo, devido a sua habilidade de atuar na solubilização de nutrientes, que podem estar presentes de maneiras insolúveis e indisponíveis no solo, promovendo maior disponibilidade e absorção dos nutrientes melhorando a resposta fisiológica das plantas (WAGHUNDE et al., 2016; YADAV, 2018).

Na Tabela 3 é apresentado o desdobramento da interação significativa entre época de aplicação de *Trichoderma atroviride* e doses crescentes de boro para açúcar total, sacarose, aminoácidos e proteína total em grãos de soja.

Tabela 3. Desdobramento da interação significativa entre as épocas de aplicação de *Trichoderma atroviride* e doses de boro em grãos de soja para açúcar total, sacarose, aminoácidos e proteína total. Alta Floresta-MT, (2021).

Épocas	Doses de boro (g ha ⁻¹)				
	0	500	1000	1500	2000
	Açúcar total (mg g ⁻¹)				
SEM	90,06 a	96,07 a	92,02 b	112,95 ab	97,33 b
V5	94,44 a	97,66 a	100,30 ab	84,20 c	124,17 a
R1	104,02 a	80,80 a	85,87 b	129,98 a	102,22 b
R5	107,66 a	101,03 a	117,12 a	100,68 bc	84,35 b
	Sacarose (mg g ⁻¹)				
SEM	51,65 a	51,48 bc	52,67 a	67,00 a	48,32 a
V5	51,29 a	60,60 ab	54,90 a	54,11 b	50,63 a
R1	57,87 a	49,27 c	50,75 a	55,32 b	54,43 a
R5	54,51 a	65,71 a	56,31 a	56,31 ab	49,31 a
	Aminoácidos (mg g ⁻¹)				
SEM	3,88 ab	3,16 ab	3,82 a	3,80 b	4,48 a
V5	4,29 a	3,43 ab	3,77 a	3,88 b	4,13 a
R1	3,01 c	3,73 a	3,76 a	3,88 b	4,22 a
R5	3,36 bc	2,96 b	4,00 a	4,62 a	4,37 a
	Proteína total (%)				
SEM	33,77 a	34,60 a	42,18 a	36,35 b	36,27 a
V5	31,94 a	34,98 a	35,80 b	32,53 b	36,59 a
R1	31,67 a	34,39 a	32,18 b	32,44 b	35,07 a
R5	35,67 a	35,40 a	34,28 b	44,93 a	34,05 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para açúcar total (Tabela 3), nas doses de boro 0 e 500 g ha⁻¹, não foi observada diferença entre as épocas de aplicação do *Trichoderma*. Na dose de 1000 g ha⁻¹, a maior concentração de açúcar total foi observada na aplicação no

estágio R5, a qual não diferiu apenas da aplicação em V5. Em relação à dose de 1500 g ha⁻¹ a maior concentração de açúcar total foi verificada na aplicação em R1, sendo que esta não diferiu apenas da ausência do microrganismo. Já na dose de 2000 g ha⁻¹ a maior concentração de açúcar total foi obtida na aplicação em V5, sendo esta superior às demais.

Em relação ao açúcar total, as doses de B aplicadas se ajustaram a um modelo matemático somente na aplicação em R5, sendo verificado um ajuste quadrático e com a maior resposta na dose de 507 g ha⁻¹ (Figura 6).

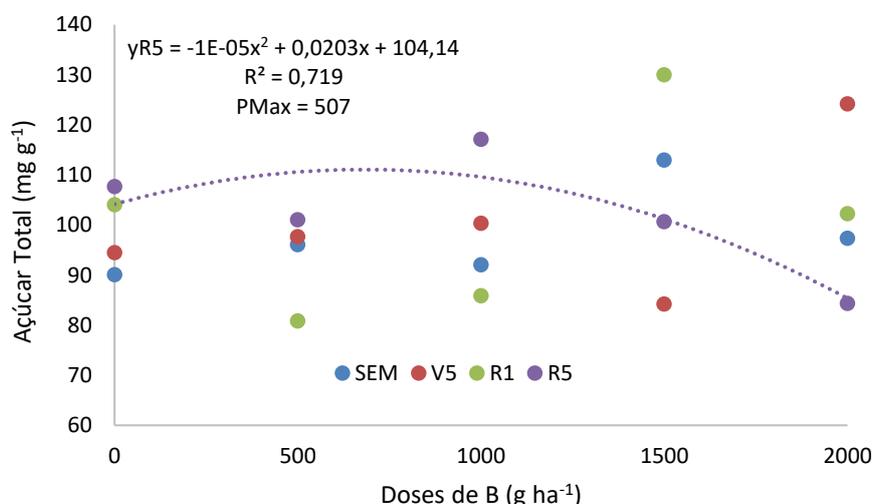


Figura 6. Teor de açúcar total em grãos de soja em função do uso de doses de B em diferentes épocas de aplicação de *Trichoderma atroviride*. Alta Floresta-MT, (2021).

Na ausência de B e nas doses de 1000 e 2000 g ha⁻¹ não houve diferença entre as épocas de aplicação de *Trichoderma* em relação aos teores de sacarose (Tabela 3). Na dose de B de 500 g ha⁻¹, a maior concentração foi observada em R5, sendo que não diferiu apenas de V5. Para 1500 g ha⁻¹, a maior concentração ocorreu na ausência da aplicação de *Trichoderma*, sendo que esta não diferiu apenas de R5.

Houve ajuste a um modelo quadrático para a aplicação de doses de B e os teores de sacarose apenas na aplicação de *Trichoderma* em R5, sendo observado maior resposta na dose de 718 g ha⁻¹ (Figura 7).

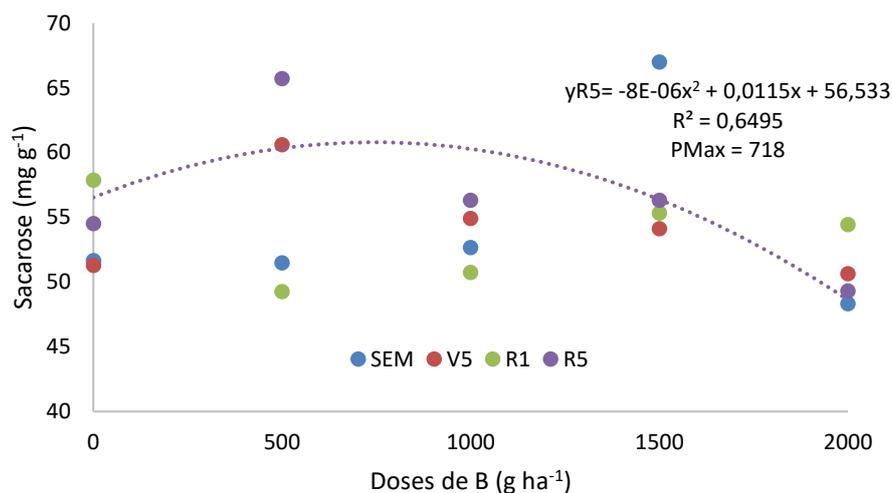


Figura 7. Teor de sacarose em grãos de soja em função do uso de doses de B em diferentes épocas de aplicação de *Trichoderma atroviride*. Alta Floresta-MT, (2021).

Em relação ao teor de aminoácidos (Tabela 3), para as doses de 1000 e 2000 g ha⁻¹, não foi observada diferença entre as épocas de aplicação. Na ausência de B, o maior teor de aminoácidos foi verificado em V5, que não diferiu da não aplicação de *Trichoderma*. Para 500 g ha⁻¹, o maior teor de aminoácidos foi observado na aplicação de *Trichoderma* em R1, sendo esta época, nesta dose, superior somente à aplicação em R5. Quanto à dose de 1500 g ha⁻¹, verificou-se maior teor de aminoácidos com a aplicação de *Trichoderma* em R5, superior às demais épocas.

Na ausência de B e com a aplicação de 500 e 2000 g ha⁻¹, não se verificou diferença entre as doses quanto ao teor de proteína total (Tabela 3). Mas, aplicando-se 1000 g ha⁻¹, o maior teor de proteína total foi verificado na ausência de *Trichoderma*, que foi superior às demais épocas de aplicação e na dose de 1500 g ha⁻¹, a época em R5 foi superior às demais. Para a proteína total não foi observado ajuste a um modelo matemático para doses de B nas diferentes épocas de aplicação de *Trichoderma*.

Os grãos de soja são constituídos por alguns compostos tais como, diversos açúcares como sacarose, estaquiose, rafinose, glicose, frutose, melibiose, galactose, ramnose e maltopentose e, dentre estas, o principal componente é a sacarose, que corresponde a 50% dos açúcares totais da leguminosa (SILVA et al., 2009). A sacarose é um dissacarídeo exportado a partir das folhas para os demais órgãos, propiciando maior vigor as sementes e

sustentando o crescimento e desenvolvimento da planta, bem como, a síntese de produtos de reserva desta (HENNING et al., 2010; TAIZ et al., 2017).

Nesse estudo, os níveis de açúcar total nos grãos obtidos variaram entre de 80,80 e 129,98 mg g⁻¹ (Tabela 3), sendo semelhantes aos relatados por Mathias et al. (2019) e Delgado et al. (2015), avaliando o vigor de sementes de soja obtiveram níveis de açúcar também muito próximos aos do presente estudo (entre 81,65 a 142,30 mg g⁻¹). Já os teores de sacarose nos grãos variaram entre 48,32 e 67,0 mg g⁻¹ (Tabela 3), cujo na literatura as concentrações descritas variaram de 53 a 62 mg g⁻¹ em grãos maduros de soja (MASUDA, 2004; DE OLIVEIRA et al., 2010) faixa que se aproxima dos valores observados, cujo a sacarose corresponde de 51 a 59 % de açúcar total nos grãos.

A atividade fotossintética é alterada quando ocorre desequilíbrio nutricional nas plantas, especialmente na produção e translocação de açúcares. Por sua vez, o açúcar é encontrado nas plantas na forma de armazenamento de carboidratos, onde após a produção durante a fotossíntese, são direcionados para células de translocação próximas ao floema ocorrendo a distribuição para os tecidos vegetais (ZHU et al., 2007).

No presente estudo, nota-se (Tabela 3) que a inoculação do *Trichoderma* nas épocas V5 e R5 têm influência positiva em relação ao metabolismo de síntese e translocação de açúcares totais e sacarose para os órgãos de reserva. É importante ressaltar que isso ocorre devido ao *Trichoderma* atuar na produção de hormônios relacionados ao crescimento, expressando maior disponibilidade e eficiência no uso de nutrientes, bem como, aumento da absorção destes pelas plantas (DAS et al., 2017; MENDOZA-MENDOZA et al., 2018; WOO e PEPE, 2018). Dentre esses nutrientes destaca-se o fósforo, que atua auxiliando no desenvolvimento vegetal, respiração, divisão e crescimento celular, fornecendo energia e aumento das taxas fotossintéticas cujo o produto final é a síntese de açúcares (SILVA et al., 2012; VIEIRA et al., 2017).

Sabendo-se que o nutriente B é imóvel na planta, a aplicação em estádios que as plantas apresentam maior demanda, possibilita com que aumente a relação fonte-dreno, onde irá potencializar a sua atuação na síntese e translocação de açúcares para os órgãos em desenvolvimento (MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA et al., 2002; SANTOS et al., 2008).

Portanto, observa-se também que a fertilização de B incrementou os níveis de açúcares totais e sacarose nos grãos (Tabela 3). Esse resultado é explicado pela presença de doses adequadas de B, melhorando o transporte de açúcares que são sintetizados, sendo transportados via floema, resultando na melhoria de formação de grãos e posteriormente na germinação das sementes para plantio (WARAICH et al., 2011). Já a deficiência de B induz a mudanças que afetam os dutos do xilema durante o transporte de água e nutrientes, deformando estruturas do floema, reduzindo a condutância estomática e a transpiração, afetando o transporte de carboidratos para os órgãos (CHEN et al., 2012; LU et al., 2014).

A soja é reconhecida pela sua qualidade nutricional, onde maior parte dos aminoácidos essenciais aos seres humanos estão presentes nas sementes dessa leguminosa (LAMBEIN et al., 2005; ERDAW et al., 2016). Dentre estes compostos, destacam-se que os aminoácidos são caracterizados como biomoléculas de elevada qualidade, alto valor biológico, e com grande importância para os processos metabólicos nas plantas (LACERDA et al., 2020).

Nota-se (Tabela 3) que a inoculação de *Trichoderma* na fase R5 (enchimento de grãos) influencia positivamente na biossíntese de aminoácidos nos grãos. No entanto, esse resultado antecede em função do *Trichoderma* está relacionado em aumentar a assimilação de nutrientes, dentre eles o nitrogênio mineral (DOMINGUEZ et al., 2016). Isso ocorre, pois estes microrganismos colonizam as raízes das plantas e estimulam o seu desenvolvimento, bem como, protegem as raízes de estresses que podem acometer essas estruturas (MACHADO et al., 2011). Dessa forma, o nitrogênio assimilado pelas leguminosas se liga com os esqueletos carbônicos produzindo os aminoácidos, que são armazenados nos tecidos vegetais. Com isso, na fase de enchimento dos grãos, essas reservas são quebradas e translocadas para armazenamento nos órgãos vegetais na forma de aminoácidos e proteínas (MARSCHNER, 1995).

Observa-se (Tabela 3) que a fertilização de B incrementou a produção de aminoácidos. Nesse sentido, a nutrição mineral adequada é essencial para o desenvolvimento da planta, sendo que o boro apresenta função importante na estruturação da parede celular, formando novos tecidos e no crescimento do

sistema radicular (ARAÚJO et al., 2017). Para tanto, considera-se importante a aplicação de B durante principalmente o estágio reprodutivo se comparado a fase vegetativa, cujo as plantas apresentam maiores exigências nutricionais (PRADO, 2021).

Por sua vez, observa-se que sem a aplicação de *Trichoderma* ou com o uso da dose de 500 g ha⁻¹ houve resposta no aumento da produção de aminoácidos, respectivamente, a partir das doses de 666 e 916 g ha⁻¹. Já para as aplicações de *Trichoderma* nas fases reprodutivas se observa uma tendência linear crescente, onde o aumento das doses de B ocasionam o aumento dos teores de aminoácidos (Figura 8).

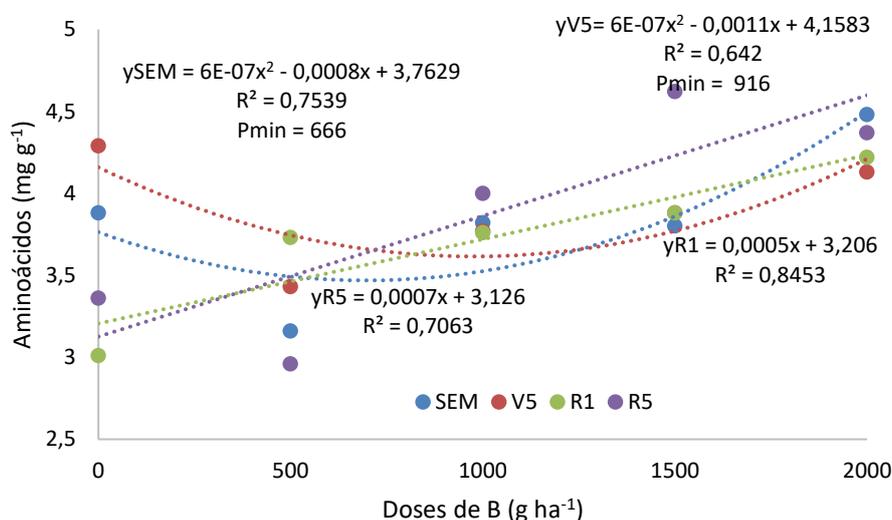


Figura 8. Teor de aminoácidos em grãos de soja em função do uso de doses de B em diferentes épocas de aplicação de *Trichoderma atroviride*. Alta Floresta-MT, (2021).

Os grãos de soja são caracterizados pelo alto valor nutritivo, onde são ricos em proteína apresentando de 30 a 45%, além de conter todos os aminoácidos que são essenciais (MOREIRA, 1999). Por sua vez, esse elemento é relacionado como fonte de energia, alto valor qualitativo e a qualidade fisiológica do grão (BORRMANN, 2009).

As plantas de ciclo longo como a soja apresentam maior capacidade de absorver o nitrogênio que está presente no solo (SANTACHIARA; BORRÁS; ROTUNDO, 2017), e possivelmente resultará em maiores níveis de proteína solúvel nas folhas. Isso reflete na translocação dessa proteína para os grãos (ROTUNDO et al., 2009; SOARES, 2016).

O presente estudo demonstrou que os teores de proteína nos grãos obtidos variaram entre 31,67 e 44,93% (Tabela 3) e, dessa forma, assemelham-se a resultados em outras pesquisas, onde há relatos de concentrações que variaram de 37,1 a 39,3% em plantas de soja transgênica com resistência ao glyphosate (LACERDA et al., 2021).

Nessa pesquisa (Tabela 3), observa-se que a inoculação do *Trichoderma* na fase R5 (enchimento de grãos) incrementou positivamente no aumento no teor de proteína nos grãos. Essa observação é devido a relação do *Trichoderma* em melhorar o estado nutricional da planta possibilitando melhores resultados na produção da cultura (CHAGAS et al., 2017). Com isso, o fungo possibilita melhorar a qualidade proteica, onde plantas de tomate, quando submetidas à aplicação do microrganismo apresentaram maior teor de proteína quando comparadas ao tratamento controle (RUIZ-CINESROS et al., 2018). Já a aplicação via foliar de *Trichoderma* promoveu melhorias nutricionais em plantas de feijão, que expressaram aumento na quantidade de proteína nos grãos (JUNGES, 2016).

Portanto, nota-se (Tabela 3) que a fertilização de B também promoveu aumento no teor de proteína nos grãos. Com isso, é importante salientar que o boro também atua na síntese de proteínas nas plantas (BATISTA et al., 2018). Neste sentido, Mehmood et al. (2018), estudando doses de boro na cultura do girassol, observaram que a adubação boratada propiciou incremento nutricional com maior teor de proteína nos grãos quando comparado à ausência do micronutriente nas plantas.

Na figura 9 encontram-se as análises referentes a correlação linear de Pearson, cujo as magnitudes foram classificadas de acordo com Carvalho et al. (2004), seguindo as intensidades: > 0 a $\leq 0,30$ (fraca), $> 0,30$ a $\leq 0,60$ (moderada) e $> 0,60$ a ≤ 1 (forte). Os resultados desse estudo mostraram correlação significativa moderada positiva entre as variáveis sacarose e açúcar total ($r = 0,31$), o autor Paula (2007) também encontrou resultados semelhantes entre as duas variáveis, onde essa relação deve-se a sacarose ser o principal tipo de açúcar e estar presente em maior proporção nas plantas. A proteína total também demonstrou correlação significativamente fraca positiva com aminoácidos ($r = 0,30$), devido quantidade de proteínas corresponderem uma

fonte reserva de aminoácidos essenciais nos grãos de soja (CANTO e TURATTI, 1989; TEIXEIRA, 2003). Entretanto, aminoácidos foi a única variável que tem correlação significativamente negativa com sacarose ($r = -0,26$), uma hipótese para explicar essa relação é que a sacarose é utilizada pela planta como fonte de energia e carbono para os processos metabólicos relacionados a síntese de aminoácidos, proteínas e lipídios (NASCIMENTO, 1994).

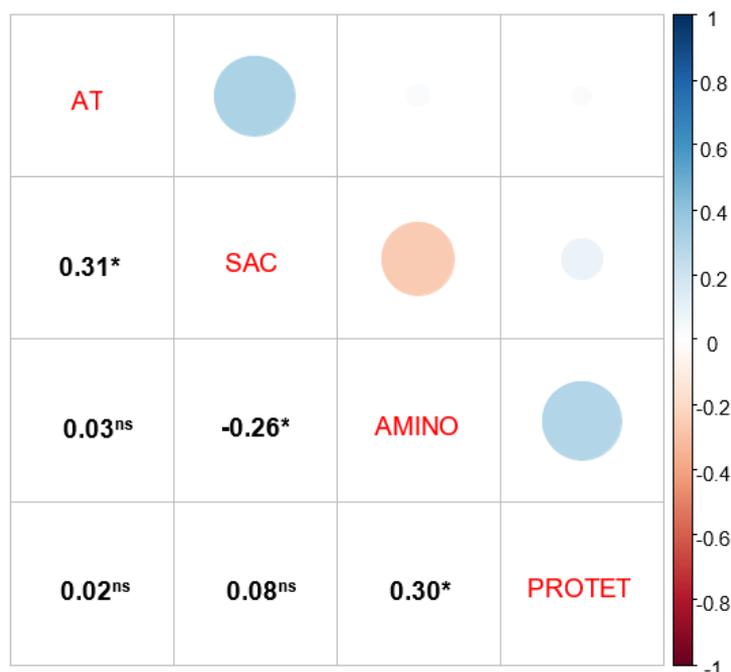


Figura 9. Correlação de Pearson para as variáveis bioquímicas e fisiológicas nos grãos de plantas de soja. Açúcar total (AT), Sacarose (SAC), Aminoácidos (AMINO), Proteína total (PROTET). * e ns correspondem respectivamente a significativo a 5% e não significativo.

São apresentados na Tabela 4 os resultados obtidos para açúcar total, ácido alantóico e carotenoides em folhas das plantas de soja, sendo que apenas para as épocas de aplicação de *Trichoderma atroviride* houve diferença significativa, não sendo observado o efeito doses de B, e interação significativa entre os fatores épocas de aplicação do microrganismo e doses de B. O maior teor de açúcar total foi verificado na aplicação do fungo em R1, sendo esta época superior somente a ausência da aplicação. Para os teores de ácido alantóico nas folhas o menor teor foi verificado com a aplicação na época R5, onde este teor foi inferior as demais. Em relação a carotenoides, o maior teor foi verificado na aplicação do *Trichoderma* em R1, o qual foi semelhante apenas ao da aplicação em V5.

Tabela 4. Valores de F e coeficiente de variação CV (%) e valores médios do teor foliar de açúcar total, ácido alantóico e carotenoides em plantas de soja nas diferentes épocas de aplicação de *Trichoderma atroviride* e doses de boro. Alta Floresta-MT, (2021).

	Açúcar total (mg g ⁻¹)	Ácido alantóico (µg g ⁻¹)	Carotenoides (mg g ⁻¹)
Épocas (E)			
SEM	12,17 b	33,23 a	87,78 b
V5	13,20 ab	34,14 a	98,55 a
R1	14,23 a	31,27 a	101,62 a
R5	13,36 ab	25,82 b	73,82 c
Valor de F	3,96*	7,00*	24,52*
Doses B (D)			
0	13,93 a	29,29 a	95,55 a
500	13,17 a	29,53 a	90,71 a
1000	12,73 a	34,34 a	88,37 a
1500	12,92 a	32,31 a	87,03 a
2000	13,45 a	30,10 a	90,57 a
Valor de F	0,97 ^{ns}	1,88 ^{ns}	1,30 ^{ns}
E * D			
Valor de F	1,37 ^{ns}	1,21 ^{ns}	1,85 ^{ns}
CV(%)	14,36	20,25	12,55

* e ns correspondem respectivamente a significativo a 5% e não significativo pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

No presente estudo, verificou-se que a concentração de açúcar total no tecido vegetal das folhas variou entre 12,17 a 14,23 mg g⁻¹ (Tabela 4). Em pesquisa realizada por Salvador (2014), plantas de soja foram submetidas a diferentes temperaturas e concentrações de CO₂ e foram verificados níveis entre 3,22 e 51,20 mg g⁻¹. Segundo o autor, isso ocorreu em função do estímulo das taxas de CO₂ que intensificaram a atividade fotossintética nas plantas.

Considerando que, na fase vegetativa e reprodutiva a translocação de fotoassimilados é direcionada para desenvolvimento das estruturas ocorrendo uma competição entre esses órgãos, a adubação especificamente no estágio reprodutivo promove melhor distribuição destes no sistema fonte-dreno da planta (ZANON et al., 2015).

Nesse estudo, (Tabela 4) no estágio R1 (início da fase reprodutiva) o *Trichoderma* teve influência positiva no aumento da síntese e translocação de açúcares nas folhas. Esse resultado é explicado por Shores et al. (2010), que em pesquisa utilizando o *Trichoderma* sp., verificaram que estes promovem estímulos a respiração, aumento da fotossíntese e potencializando a eficiência

fotossintética das plantas. Entretanto, existe correlação dos processos fotossintéticos tendo como resultado a biossíntese de carboidrato, sendo relatado por estes autores, que esse efeito é decorrente da atuação do microrganismo, proporcionando aumento na síntese e translocação de açúcares nas plantas.

No entanto, é importante considerar que apesar da pequena quantidade de B que as plantas necessitam, na ausência do micronutriente, estas não se desenvolvem e não produzem satisfatoriamente (KIRKBY, 2012). Com isso, níveis adequados de boro estão relacionados a uma série de processos fisiológicos nos vegetais, dentre eles o metabolismo de carboidratos e transporte dos açúcares, que ocorrem através das membranas, pois o micronutriente tem a função de equilibrar os níveis de açúcares nas plantas que são assimilados para os tecidos (BROWN et al., 2002; BROADLEY et al., 2012; KABU et al., 2013).

Em relação às doses crescentes de boro, não houve diferença significativa para açúcar total, porém percebeu-se que a testemunha se caracterizou pelo aumento dos níveis de açúcar total, o que se deve a um acúmulo excessivo de carboidratos nas folhas em função da deficiência do micronutriente (Tabela 4). Por sua vez, resultados corroboram com deste estudo, onde a deficiência de B ocasiona o acúmulo de açúcares nas estruturas dos vegetais, e assim, a planta não consegue utilizar o carboidrato de maneira eficiente nos seus processos metabólicos (BOGIANI et al., 2013). Em plantas de algodoeiro, a deficiência de boro resultou na destruição dos vasos dos pecíolos, prejudicando o transporte dos produtos fotossintéticos das folhas para os outros tecidos vegetais (LI et al., 2017).

O ácido alantóico é a principal forma de nitrogênio no tecido vascular de plantas fixadoras de N, onde são sintetizados pelas raízes em forma de ureídeos e degradam via oxidação das purinas (FILLIPI et al., 2007; DURAN e TODD, 2012). No entanto, a síntese deste ocorre no retículo endoplasmático a partir da alantoína (TAIZ et al., 2017). Na soja, cerca de 90% do nitrogênio que é fixado e exportado dos nódulos para as raízes e parte aérea são na forma de ureídeos, incluindo a alantoína e o ácido alantóico (REIS et al., 2014).

Nesse estudo, a inoculação do *Trichoderma* nas épocas V5 e R1 promoveu influência positiva na absorção e eficiência do uso do nitrogênio (Tabela 4). Esse resultado explica-se devido à presença do *Trichoderma* que possibilita o aumento na absorção e solubilização de nutrientes, bem como, a eficiência do uso desses elementos minerais pelas plantas, essencialmente o nitrogênio (HARMAN et al., 2004; LUCON, 2014).

Observou-se que na fase R5 (enchimento de grãos) os níveis de ácido alantóico apresentaram um declínio, podendo estar relacionado a redução da atividade biológica de N, o que refletiu nos teores de carotenoides na mesma época (Tabela 4). Nessa perspectiva, existe uma correlação entre os teores dos carotenoides serem reflexos do status de nitrogênio disponível na planta, cujo a diminuição pode acometer na biossíntese destes pigmentos (MENDES et al., 2020). Nas leguminosas isso ocorre devido a senescência dos nódulos no início da antese em função da síntese de sinais generalizados na parte aérea da planta ou durante a fase de enchimento de grãos, onde tem se o declínio da fixação biológica de nitrogênio durante esse período (PUPPO et al., 2005; XAVIER et al., 2007).

Alguns autores descrevem que a soja tem grande capacidade de assimilação de nitrogênio através da fixação biológica, onde essa capacidade tem correlação positiva com a produção na fase R2 da planta, porém após esse estágio tem-se um declínio da atividade de fixação biológica de nitrogênio. Por sua vez, no estágio R4 tem-se a formação da vagem, onde inicia-se a translocação de fotoassimilados para os órgãos de armazenamento (FABRE e PLANCHON, 2000; SOARES et al., 2017). A variação de ácido alantóico ao longo do ciclo de vida também foi observado em folhas de *Calopogonium mucunoides* conhecido como feijão sagu, onde a atividade metabólica de nitrogênio apresentou maior quantidade na época vegetativa e menores teores na época de florescimento e frutificação da planta (CANALTO et al., 2014).

Os carotenoides são constituintes das membranas dos tilacoides, sendo definidos como pigmentos acessórios, onde a luz que é absorvida por esse pigmento é então transferida para a clorofila para realizar a fotossíntese. Além disso, atuam como fotoprotetores das plantas em decorrência dos danos ocasionado pela luz (TAIZ e ZEIGER, 2013).

As condições estressantes dificultam a síntese dos pigmentos de clorofila onde alteram a estrutura do complexo pigmento-proteína, ocasionando redução na eficiência da atividade fotossintética e desempenho metabólico das plantas (IQBAL et al., 2015). Dessa forma, o conteúdo de carotenoides atua na eliminação de ERO e proteção da membrana que é enfraquecida quando a planta está sob condições de estresse (DAS e ROYCHOUDHURY, 2014).

Nessa pesquisa, o *Trichoderma* atuou nas fases vegetativa (V5) e no início da reprodutiva (R1), tendo influência positiva em relação aos conteúdos de carotenoides (Tabela 4). Isso é decorrente da ação de compostos orgânicos voláteis (COVs) que o *Trichoderma* produz, cujo atuam como mediadores das relações bioquímicas estimulando o crescimento das plantas, onde esses COVs também promovem o aumento dos níveis de carotenoides (KANCHISWAMY et al., 2015; KADDES et al., 2019). Estudo com mudas de *Cucurbita pepo* inoculadas com *Trichoderma* sp. indicou aumento na síntese de carotenoides (SOLIMAN et al., 2020). Segundo Ikram et al. (2019) em inoculação realizada em plantas de trigo foi possível verificar que o fungo aumentou o teor de carotenoides sob condições de estresse salino, demonstrando que o microrganismo auxiliou a sintetizar os pigmentos fotossintéticos em condições severas. Em plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) submetidas ao estresse hídrico, a inoculação de *Trichoderma harzianum* foi responsável pelo aumento de 20% no conteúdo de carotenoides nas plantas demonstrando a importância deste na proteção da estrutura fotossintética contra o estresse (MONA et al., 2017).

Na Tabela 5 apresenta-se o desdobramento da interação entre as épocas de aplicação de *Trichoderma atroviride* e doses de boro, mostrando épocas dentro de doses, para os teores foliar de sacarose, aminoácidos, ureídeos totais, clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total, feofitina *a*, feofitina *b* e feofitina total.

Em relação a sacarose, apenas na dose de 2000 g ha⁻¹ não ocorreu diferença significativa entre as épocas de aplicação de *Trichoderma* (Tabela 5), sendo que nos outros níveis de época de aplicação a maior média foi representada pela aplicação em R5, onde na dose 0 à época R5 não diferiu da ausência de aplicação e em V5; na dose 500 e 1500 g ha⁻¹, R5 não diferiu apenas

da ausência da aplicação e na dose de 1000 g ha⁻¹, R5 foi superior as demais épocas.

Na presente pesquisa a concentração de sacarose nas folhas variaram entre 1,80 a 3,77 mg g⁻¹ no tecido vegetal (Tabela 5). Lapaz (2019) trabalhando com planta de soja submetida a condições com e sem encharcamento sob concentrações de Fe no solo observou teores de sacarose que variaram entre 1,5 a 3,8 mg g⁻¹ MF no tecido foliar.

Tabela 5. Desdobramento da interação entre as épocas de aplicação de *Trichoderma atroviride* e doses de boro, mostrando épocas dentro de doses, para os teores foliar de sacarose, aminoácidos, ureídeos totais, clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total, feofitina *a*, feofitina *b* e feofitina total. Alta Floresta-MT, (2021).

Épocas	Doses de boro (g ha ⁻¹)				
	0	500	1000	1500	2000
Sacarose (mg g ⁻¹)					
SEM	2,53 ab	3,16 a	2,39 b	2,78 ab	2,33 a
V5	3,01 ab	2,19 b	2,07 b	2,17 b	2,07 a
R1	2,47 b	1,83 b	2,84 b	2,65 b	2,07 a
R5	3,39 a	3,27 a	3,77 a	3,62 a	1,80 a
Aminoácidos (mg g ⁻¹)					
SEM	1,56 b	1,75 b	1,62 b	1,77 b	2,59 b
V5	2,95 a	2,55 a	2,03 b	1,74 b	1,80 c
R1	1,85 b	1,71 b	1,62 b	2,05 b	1,81 c
R5	2,93 a	2,70 a	3,03 a	3,56 a	3,94 a
Ureídeos totais (µg g ⁻¹)					
SEM	174,73 b	172,42 b	168,39 b	174,31 b	220,44 bc
V5	258,01 a	250,99 a	236,79 a	237,50 a	193,76 c
R1	206,55 ab	223,99 ab	261,89 a	281,39 a	287,02 a
R5	255,67 a	263,92 a	279,60 a	262,88 a	260,98 ab
Clorofila <i>a</i> (mg kg ⁻¹)					
SEM	677,29 b	696,38 b	623,16 a	650,78 b	783,74 a
V5	880,60 a	783,16 ab	782,17 a	864,63 a	807,02 a
R1	725,71 ab	898,87 a	795,97 a	762,21 ab	741,78 a
R5	667,89 b	663,21 b	662,37 a	775,54 ab	854,85 a
Clorofila <i>b</i> (mg kg ⁻¹)					
SEM	256,46 a	292,78 b	268,38 a	287,98 b	309,96 a
V5	339,83 a	295,57 b	301,04 a	383,38 a	323,21 a
R1	284,67 a	384,60 a	308,52 a	291,74 b	293,96 a
R5	275,78 a	301,03 ab	314,63 a	338,30 ab	338,46 a
Clorofila total (mg kg ⁻¹)					
SEM	933,76 b	989,16 b	891,54 a	938,76 a	1093,70 a

V5	1220,43 a	1078,73 ab	1083,21 a	1197,53 a	1130,23 a
R1	1026,52 ab	1283,47 a	1104,49 a	1053,96 a	1035,74 a
R5	943,67 b	964,24 b	977,00 a	1119,74 a	1235,45 a
Feofitina a (mg kg ⁻¹)					
SEM	983,85 b	1041,79 a	872,24 b	979,87 b	1231,21 ab
V5	1394,06 a	1240,84 a	1221,14 a	1365,95 a	1293,38 ab
R1	1077,32 ab	1362,75 a	1204,78 ab	1097,57 ab	1086,93 b
R5	940,92 b	1038,81 a	1002,01 ab	1209,31 ab	1430,65 a
Feofitina b (mg kg ⁻¹)					
SEM	1005,4 a	840,72 a	1269,08 a	723,77 a	673,88 ab
V5	559,84 b	595,19 a	676,89 b	718,30 a	580,64 b
R1	845,63 ab	821,42 a	776,94 b	983,20 a	1015,43 a
R5	1148,91 a	943,08 a	745,41 b	635,56 a	412,20 b
Feofitina total (mg kg ⁻¹)					
SEM	1989,25 a	1882,51 ab	2141,32 a	1703,64 b	1905,08 a
V5	1953,90 a	1836,03 b	1898,03 ab	2084,25 a	1874,02 a
R1	1922,95 a	2184,17 a	1981,73 ab	2080,77 a	2102,36 a
R5	2089,85 a	1981,89 ab	1747,43 b	1844,88 ab	1892,86 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Durante a atividade fotossintética alguns produtos são gerados onde o principal é a sacarose que é translocado através da planta pelo floema, sendo utilizada para crescimento e biossíntese de polissacarídeos em outras estruturas da planta. Portanto, altas taxas do processo fotossintético caracterizam no aumento da síntese de sacarose (TAIZ et al., 2017).

Nota-se, que a inoculação do *Trichoderma* na fase R5 (enchimento de grãos) teve atuação positiva na melhoria da fotossíntese promovendo o aumento da síntese e translocação de sacarose nas folhas (Tabela 5). Nesse sentido, esses resultados estão relacionados devido o *Trichoderma* sp. trazer benefícios ligados a maior absorção de nutrientes e promovendo o aumento na taxa fotossintética que pode ser em função da solubilização de fósforo que atua na fotossíntese (OLIVEIRA et al., 2012; NASCENTE et al., 2017). O *Trichoderma* também tem atuado no aumento dos conteúdos de pigmentos clorofilianos, o que proporciona maior eficiência na absorção e transferência de energia luminosa e elétrons, o que induz a elevação da taxa fotossintética e biossíntese de carboidratos (TAIZ e ZEIGER, 2013; DOS SANTOS et al., 2018).

Observa-se (Tabela 5) que a fertilização de B promoveu incremento no metabolismo de carboidratos, propiciando aumento na síntese deste nas folhas.

Com isso, esse efeito explica-se pela aplicação adequada de boro, que também atua na síntese e no transporte de carboidratos, como a sacarose, devido ao aumento da reação fotossintética nas plantas (OZTURK et al., 2010; MORENO-ECHEVERRY et al., 2016).

Portanto, a suplementação foliar de nutrientes em doses adequadas e em estádios fenológicos específicos pode resultar em ganhos produtivos, sendo que o benefício da suplementação de boro se destaca na fase reprodutiva das plantas, estimulando a atividade fotossintética, a translocação de açúcares e o aumento do crescimento vegetal (LEONARD et al., 2014; RODRIGUES et al., 2021).

De acordo com o estudo de regressão para sacarose, houve ajuste matemático apenas para a aplicação em V5, sendo que o modelo linear decrescente se ajustou aos dados correspondentes à aplicação de doses de boro, apresentando coeficiente de determinação de 56%, já para a época R5, apesar de apresentar ajuste ao modelo linear, houve baixo valor de ajuste dos dados ao modelo, onde o coeficiente de determinação de 32%. Para as épocas SEM e R1 não houve ajuste de nenhum modelo de regressão (Figura 10).

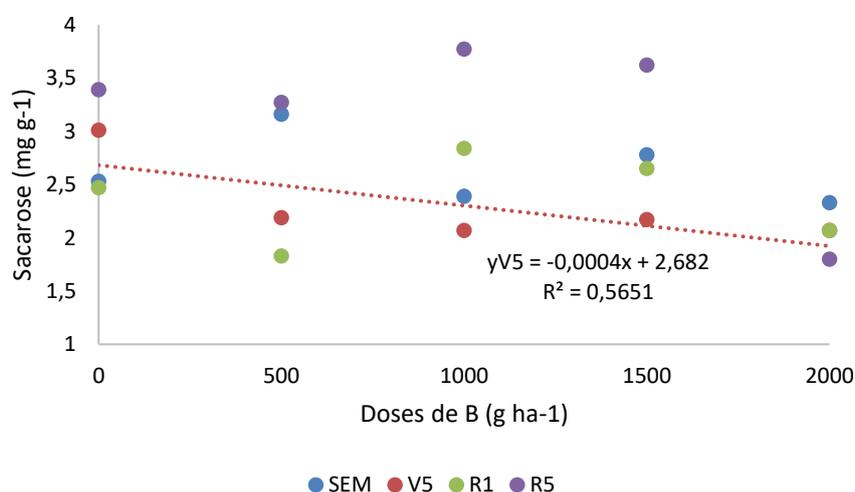


Figura 10. Desdobramento da interação entre *Trichoderma atroviride* e doses de boro para o teor de sacarose em folhas de soja. Alta Floresta-MT, (2021).

Em relação ao teor foliar de aminoácidos (Tabela 5), notou-se que nas doses 0 e 500 g ha⁻¹, os maiores teores foram verificados com a aplicação em V5 e R5, as quais não diferiram entre si. No entanto, nas doses 1000, 1500 e

2000 g ha⁻¹ se observou os maiores teores quando a aplicação ocorreu em R5, que foi superior as demais.

Os aminoácidos são substâncias formadas por nitrogênio sendo distribuídos nos tecidos da planta. No entanto, são sintetizados através do N que é transportado pelos ureídeos que são translocadas a partir dos locais da fixação do nutriente. Por sua vez, os aminoácidos ou os ureídeos são moléculas importantes no metabolismo vegetal, desempenhando diversas funções nas plantas, bem como, síntese de metabolitos secundários, promovendo resistência contra condições de estresses, além de ser fonte de nitrogênio (TAIZ e ZEIGER, 2013; CASTRO e CARVALHO, 2014).

Dessa maneira, o nitrogênio que as plantas absorvem se liga às cadeias carbônicas produzindo os aminoácidos que são armazenados nos tecidos vegetais. A partir disso, durante o enchimento dos grãos, essas reservas são quebradas e translocadas para armazenamento nos órgãos na forma de aminoácidos e proteínas (MARSCHNER, 1995).

No presente estudo se evidencia que a inoculação de *Trichoderma* na época R5 (enchimento de grãos) atuou positivamente na produção de aminoácidos nas folhas (Tabela 5). Esse resultado ocorre devido a inoculação do *Trichoderma* propiciar melhorias nos mecanismos de absorção e eficiência da planta para uso dos macro e micronutrientes importantes, dentre estes, o nitrogênio (SHORESH et al., 2010). Estudos tem descrito que a inoculação com *Trichoderma* incrementa o crescimento do sistema radicular das plantas, além disso, aumenta a disponibilidade de nitrogênio devido a ação do microrganismo (GALLETI et al., 2015).

Observa-se também que a fertilização de B incrementou na biossíntese de aminoácidos disponíveis nas folhas (Tabela 5). Esse resultado é decorrente da nutrição mineral de boro adequada que é essencial para o desenvolvimento da planta, cujo este elemento tem função importante na estruturação da parede celular, formando novos tecidos, nódulos e no crescimento do sistema radicular (ARAÚJO et al., 2017). É importante considerar que a adubação com B é essencial para diversas espécies, entretanto, a dose ideal e a tóxica tem uma faixa estreita (LANDI et al., 2012), considerando assim que o *Trichoderma* sp.

atua no aumento da tolerância aos estresses, propiciando menor toxidez à planta e melhorando o uso deste nutriente (RUBIO et al., 2014).

Conforme a regressão obtida para os aminoácidos, o modelo linear se ajustou aos dados correspondentes a aplicação de *Trichoderma atroviride* na época V5, apresentando coeficiente de determinação de 88%. Já as épocas SEM e R5, ocorreu o ajuste ao modelo quadrático expressando o coeficiente de determinação de 85% e 95% com ponto mínimo de resposta de 625 g ha⁻¹ e 250 g ha⁻¹, respectivamente, indicando que ocorre aumento do teor de aminoácidos a partir dessas doses. Para a época R1 não foi observado ajuste a um modelo de regressão (Figura 11).

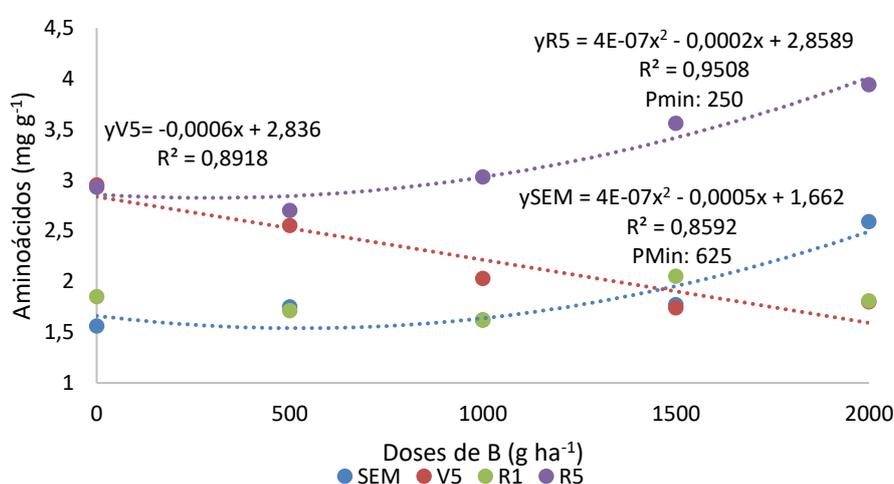


Figura 11. Desdobramento da interação entre épocas de aplicação de *Trichoderma atroviride* e doses de boro para o teor de aminoácidos em folhas de soja. Alta Floresta-MT, (2021).

Quanto aos teores de ureídeos totais se tem que nas doses 0, 500, 1000 e 1500 g ha⁻¹, a aplicação de *Trichoderma* se destacou da não aplicação, sendo que não ocorreu diferença, nessas doses, o teor com a aplicação e apenas nas duas primeiras doses a aplicação em R1 se diferiu da não aplicação. Na dose de 2000 g ha⁻¹ a aplicação em R1 se mostrou superior as demais épocas (Tabela 5).

Os ureídeos são exportados pelas leguminosas como a soja (*Glycine*) caracterizando três tipos principais, incluindo a alantoína, ácido alantóico e citrulina (TAIZ et al., 2017). As leguminosas são fixadoras de N em simbiose a bactérias do gênero *Bradyrhizobium* que absorvem o nutriente na forma de N₂, cujo produto da fixação biológica é a amônia, onde para não ocorrer toxicidade

esse elemento é convertido na forma orgânica de ureídeos que são produtos ricos de nitrogênio, sendo transportados dos nódulos pelo xilema para a parte área das plantas (TAIZ e ZEIGER, 2013; RAY et al., 2015). A partir disso, são ligados aos esqueletos carbônicos produzindo os aminoácidos que são armazenados. Entretanto, na época de enchimento dos grãos essas reservas são quebradas e translocadas para os tecidos vegetais, como nos grãos na forma de aminoácidos e proteínas (MARSCHNER, 1995).

É possível observar (Tabela 5), que a presença do *Trichoderma* nas diferentes épocas influenciou positivamente na absorção de N transportado na forma de ureídeos. Isso demonstra uma correlação com os resultados de maior produção e translocação de aminoácidos e proteínas nas folhas e grãos quando inoculou o fungo na época R5 (Tabela 4, 5). Nesse sentido, considerando a ação do *Trichoderma* em modificar a arquitetura das raízes, isso possibilita a absorção de maneira mais eficiente dos nutrientes (SALMOSKI et al., 2012; MALMIERCA et al., 2015). Na mesma perspectiva, o *Trichoderma* sp. também tem sido associado a disponibilidade e ao uso eficiente do nitrogênio pelas plantas (DOMINGUEZ et al., 2016). Além disso, o microrganismo tem demonstrado a capacidade de degradar celulose, podendo ocorrer liberação de uma grande quantidade de nitrogênio na rizosfera da planta, cuja elevada captação de N está diretamente relacionada também ao aumento da taxa fotossintética vegetal (JIANG et al., 2011; DONI et al., 2014).

Tendo base nos resultados obtidos, a fertilização de B pode ter incrementado na formação das estruturas ligadas as raízes e nódulos propiciando o aumento da assimilação de N na forma de ureídeos (Tabela 5). Nas leguminosas, a falta de B pode afetar a parede celular dos nódulos que estão presentes nas raízes e assim reduzir a fixação biológica de nitrogênio (LUKASZEWSKI e BLEVINS, 1996). A disponibilidade de boro influencia a formação da parede celular e desenvolvimento das estruturas dos nódulos, incrementando a fixação simbiótica de N da planta (BELLALLOUI et al., 2014). Além disso, o B pode auxiliar na assimilação e transporte de nutrientes como o nitrogênio (XAVIER e NATALE, 2017).

Nas doses 0 e 500 g ha⁻¹ de B, as épocas de aplicação V5 e R1 apresentaram os maiores teores de clorofila *a* e na dose de 1500 g ha⁻¹ os

maiores teores foram verificados nas aplicações em V5, R1 e R5. Nas doses de 1000 e 2000 g ha⁻¹ não foi verificada diferença entre as épocas de aplicação (Tabela 5).

O estudo de regressão para clorofila *a* apresentou modelo significativo apenas para a aplicação em R5, sendo o ajuste linear crescente, indicando que nessa época de aplicação o teor de clorofila *a* aumenta de acordo com as doses de B aplicadas (Figura 12).

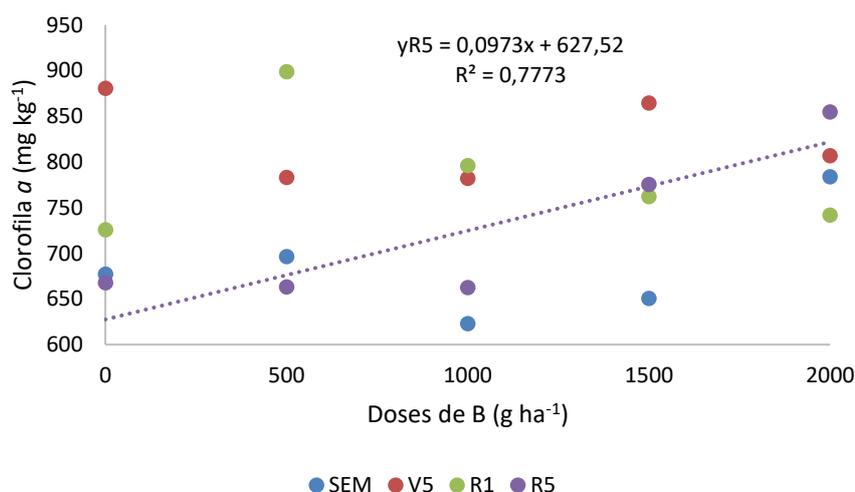


Figura 12. Desdobramento da interação entre *Trichoderma atroviride* e doses de boro para o teor de clorofila *a* em folhas de soja. Alta Floresta-MT, (2021).

Em relação à clorofila *b*, não ocorreu diferença entre as épocas de aplicação nas doses 0, 1000 e 2000 g ha⁻¹. Entretanto quando foi aplicado 500 g ha⁻¹ se observou maior teor da clorofila *b* com a aplicação na época R1, a qual não diferiu apenas da aplicação em R5 e na dose de 1500 g ha⁻¹ o maior teor foi verificado com a aplicação na época V5, a qual não diferiu apenas de R5 (Tabela 5). Em relação às doses dentro de cada época de aplicação, para época R1 não houve ajuste aos modelos linear ou quadrático, já as épocas SEM, V5 e R5, apesar de ocorrer diferença entre épocas e doses, não ocorreu ajuste a qualquer modelo de regressão.

Os maiores teores de clorofila total nas doses de boro, aplicando-se de 0 e 500 g ha⁻¹ foi observado nas épocas de aplicação V5 e R1, já para as doses 1000, 1500 e 2000 g ha⁻¹ não foi observado diferença entre as épocas (Tabela 5). Para clorofila total a regressão de ordem linear forneceu melhor ajuste para a época R5 cujo coeficiente de determinação (R²) foi de 86%. Porém, nas épocas

SEM, V5 e R1, apesar de ocorrer diferença entre doses e épocas, não ocorreu ajuste a um modelo de regressão (Figura 13).

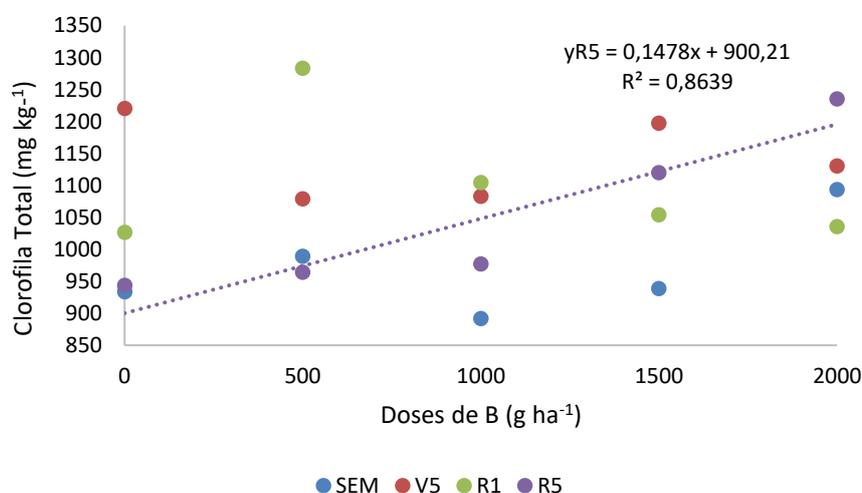


Figura 13. Desdobramento da interação entre *Trichoderma atroviride* e doses de boro para o teor de clorofila total em folhas de soja. Alta Floresta-MT, (2021).

As clorofilas são pigmentos típicos de organismos fotossintéticos sendo moléculas responsáveis pela captura de luz utilizada na fotossíntese, no qual, estão relacionadas ao crescimento e adaptação das plantas no ambiente (TAIZ e ZEIGER, 2013). No entanto, estudos demonstraram que as plantas submetidas as condições de estresses têm sido prejudicadas devido à redução da síntese dos pigmentos clorofilianos, onde as estruturas de funcionamento são alteradas resultando no declínio da eficiência fotossintética e desempenho fisiológico da planta (SHUKLA et al., 2015).

Nessa pesquisa observar-se que na presença de *Trichoderma* nas épocas V5 e R1 atuou positivamente na produção dos conteúdos de clorofilas nas plantas (Tabela 5). Esse efeito é explicado devido o microrganismo realizar a biossíntese de compostos orgânicos voláteis que mediam o metabolismo bioquímico, onde também promove o aumento dos teores de clorofilas (HUNG et al., 2014; LEE et al., 2016), assim, isso propicia a maior eficiência de absorção de luz, transferência de energia e elétrons, além do controle na distribuição desta energia (TAIZ e ZEIGER, 2013). Os autores Yadav et al. (2015) revelaram que plantas colonizadas com *Trichoderma* sp. apresentaram altas taxas fotossintéticas. Tendo em vista, que o microrganismo atua na solubilização e disponibilidade de nutrientes, isso permite que Ca e Mg sejam menos lixiviadas do solo promovendo maior absorção, especialmente do Mg que constitui a

estrutura central da clorofila (DALIAKOPOULOS et al., 2019). Alguns estudos como de Vitti et al. (2016) trabalhando com *Trichoderma harzianum* em tomate observaram que plantas tratadas com o microrganismo apresentaram aumento no teor de clorofila *a* e *b* melhorando a taxa fotossintética e a eficiência das plantas. Larios Larios et al. (2019) estudando *Capsicum chinense* (pimenta) observaram que a aplicação de *Trichoderma* sp. aumentou o índice de clorofila nas plantas.

Nota-se ainda que a fertilização de B incrementou na produção dos pigmentos clorofilianos (Tabela 5). Nessa perspectiva, a nutrição adequada de boro tem demonstrado aumento no teor de clorofila e maior eficiência na etapa fotoquímica da fotossíntese, onde a deficiência ou toxicidade do micronutriente nas plantas afeta a capacidade fotossintética (HAJIBOLAND e BASTANI, 2012; BRDAR-JOKANOVIĆ, 2020). Por sua vez, Fujiyama et al. (2019) estudando a fertilização de boro em soja descreveram que a aplicação do micronutriente favoreceu o aumento da concentração de clorofila nas folhas em função a maior eficiência e capacidade fotossintética do fotossistema II. Já Mukhopadhyay et al. (2013), cultivando mudas jovens de chá relataram que a deficiência de boro diminuiu o teor de clorofila *a* e *b* tendo como resultado a geração de ERO.

Em relação a feofitina *a*, na dose 0 g ha⁻¹ de B o maior foi observado na aplicação em V5 que não diferiu apenas de R1. Na dose 500 g ha⁻¹ de B não foi observado diferença entre as épocas. Para as doses 1000 e 1500 g ha⁻¹ de B os maiores teores foram verificados quando ocorreu a aplicação do *Trichoderma*, já para a dose de 2000 g ha⁻¹ de B a aplicação do fungo em R1 apresentou o menor teor de feofitina *a* (Tabela 5). Em relação a resposta das doses de B nas diferentes épocas de aplicação do microrganismo para feofitina *a* na época R5 os dados não se ajustaram ao modelo linear e nem quadrático, porém nas épocas SEM, V5 e R1 apesar de ocorrer diferença entre as épocas e doses não ocorreu ajuste a nenhum modelo de regressão (Tabela 5).

Nas doses de 500 e 1500 g ha⁻¹ de B não foi observada diferença entre as épocas de aplicação do *Trichoderma* para os teores de feofitina *b* (Tabela 5), já na dose 0 g ha⁻¹ de B o maior teor de feofitina *b* foi verificado na época de aplicação em R5, a qual diferiu somente da aplicação em V5. Na dose 1000 g ha⁻¹ de B a não aplicação do fungo foi superior as demais épocas de aplicação

e na dose de 2000 g ha⁻¹ de B o maior teor de feofitina *b* foi observado na aplicação em R1, a qual foi superior somente a aplicação em V5 e R5. De acordo com estudo de regressão para feofitina *b*, ocorreu ajuste a um modelo matemático apenas na aplicação em R5, sendo este linear decrescente, indicando que, para essa época de aplicação, os teores de feofitina *b* diminuem de acordo com o aumento da dose de B (Figura 14).

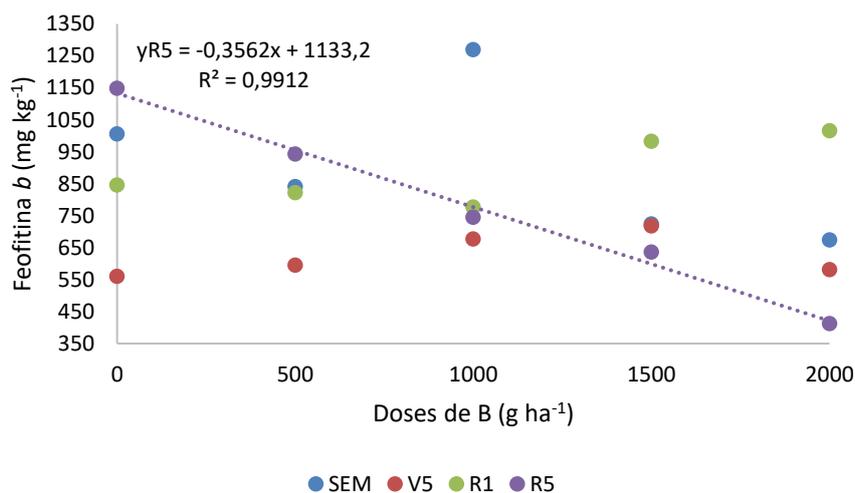


Figura 14. Desdobramento da interação entre *Trichoderma atroviride* e doses de boro para o teor de feofitina B em folhas de soja. Alta Floresta-MT, (2021).

Em relação aos teores de feofitina total (Tabela 5), se verifica que nas doses 0 e 2000 g ha⁻¹ de B não ocorreu diferença entre as épocas de aplicação, já para a dose 500 g ha⁻¹ de B os maiores teores foram observados na aplicação em R1, a qual diferiu apenas da aplicação em V5. Para a dose de 1000 g ha⁻¹ de B a não aplicação apresentou o maior teor, diferindo somente da aplicação em R5 e na dose de 1500 g ha⁻¹ de B o maior teor foi observado na aplicação em V5, que diferiu somente da ausência da aplicação do *Trichoderma* (Tabela 5).

De acordo com o estudo de regressão para feofitina total, houve apenas ajuste a um modelo matemático para a aplicação em R5, onde se teve aumento da resposta somente a partir da dose de 1.181 g ha⁻¹ (Figura 15).

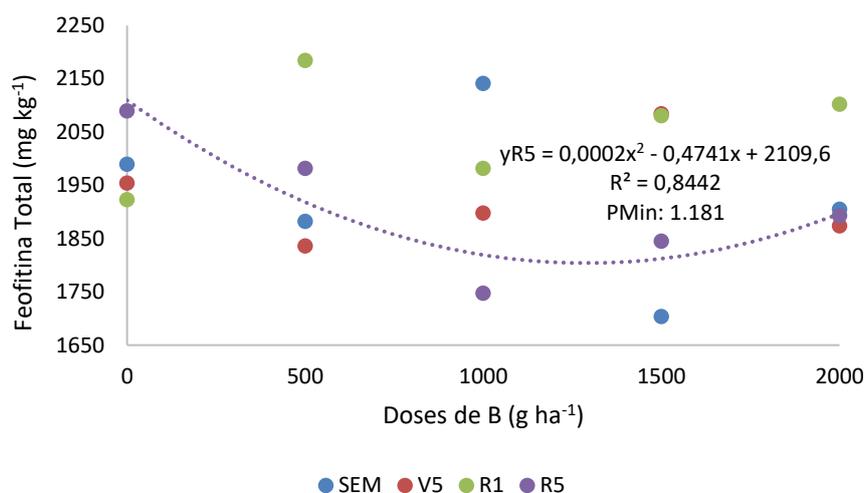


Figura 15. Desdobramento da interação entre *Trichoderma atroviride* e doses de boro para o teor de feofitina total em folhas de soja. Alta Floresta-MT, (2021).

A análise de presença de clorofila nos grãos em oleaginosas são utilizados como parâmetros de qualidade da semente (PRITCHARD, 1983; MOUNTS et al., 1990).

Dessa forma, o processo de transformação da clorofila é importante, pois ocorre durante a época de amadurecimento fisiológico que decorre de um processo enzimático sendo evidenciado pelos clorofilídeos, cujo é acoplado a um mecanismo químico não enzimático que resulta no aumento dos níveis de feofitinas (SCHWARTZ e LORENZO, 1990; HEATON e MARANGONI, 1996; MANGOS e BERGER, 1997; SUZUKI et al., 1999).

Neste sentido, fatores ambientais são capazes de retardar ou impedir a degradação das clorofilas durante a maturidade fisiológica, onde isso pode acometer na retenção da clorofila nas folhas e grãos, podendo influenciar na qualidade dos grãos de soja (GOMES et al., 2003; SINNECKER et al., 2005; ARAÚJO e DEMINICIS, 2009).

Para tanto, a indicação de maturação fisiológica da soja torna-se mais rápida a partir do estágio R5 (BORRMANN, 2009), onde a feofitinação decorre da destruição de moléculas de clorofilas, cujo a nova molécula formada denomina-se de feofitina (MARTINS e SILVA, 2002). Nesta os íons magnésio central é substituído por dois íons de hidrogênio, que atuam comoceptor inicial no fotossistema II (TAIZ et al., 2017), cujo a cor verde da molécula de clorofila é substituída pela cor marrom azeitona que é característica da feofitina (STREIT

et al., 2005). Assim evidencia-se que a clorofila *a* é mais sensível ao processo de feofitinação do que a clorofila *b* (JOHNSON-FLANAGAN e THIAGARAJAH, 1990).

Com isso, observa-se que na presença do *Trichoderma* nas fases vegetativas e reprodutivas da soja, induziu a produção de feofitinas durante o amadurecimento fisiológico da cultura (Tabela 5). Nessa perspectiva, isso é explicado devido o *Trichoderma* produzir metabolitos secundários como o etileno que mediam atividades das enzimas clorofilase e oxidases que são responsáveis pela degradação das clorofilas formando as feofitinas (SHIMOKAWA et al., 1978; YAMAUCHI et al., 1997; LEE et al., 2016; KADDES et al., 2019). Por sua vez, a inoculação de *Trichoderma* tem demonstrado ação na síntese de carotenoides nas plantas (IKRAM et al., 2019), onde atuam na fotoproteção das membranas fotossintéticas que podem ser danificadas devido à grande quantidade de energia luminosa absorvida, no qual, possuem mecanismos de proteção das clorofilas liberando o excesso de energia, cujo não ocorre a degradação destas estruturas (TAIZ et al., 2017).

Nota-se também que a fertilização de B atenuou as condições estressantes, promovendo a síntese de feofitinas, durante a época de maturidade fisiológica (Tabela 5). É importante considerar que níveis suficientes de B o estresse é relativamente menor, pois este consegue proteger as membranas contra os danos ocasionados pelas ERO, no qual, as plantas conseguem realizar suas atividades metabólicas (CAKMAK e RÖMHELD, 1997; HAN et al., 2008; MUKHOPADHYAY et al., 2013).

Na figura 16 encontram-se as análises referentes a correlação linear de Pearson, cujo as magnitudes foram classificadas de acordo com Carvalho et al. (2004), seguindo as intensidades: > 0 a $\leq 0,30$ (fraca), $> 0,30$ a $\leq 0,60$ (moderada) e $> 0,60$ a ≤ 1 (forte). Os resultados desse estudo demonstraram correlação significativamente negativa entre as variáveis H_2O_2 e MDA ($r = -0,29$), onde Santos (2020) relata resultados semelhantes na soja expressando que o MDA não teve correlação direta com o aumento do H_2O_2 não sendo suficiente para ocasionar danos as membranas via peroxidação lipídica. Já carotenoides com o MDA também expressou correlação negativa ($r = -0,26$), cujo uma hipótese é

que os carotenoides atuou como protetor das membranas vegetal eliminando as ERO (DAS e ROYCHOUDHURY, 2014).

Entretanto, UT apresentou correlação significativamente moderada positiva ($r = 0,40$) com AMINO, o que tem relação devido os ureídeos serem moléculas exportadoras ricas de N, cujo é translocado pela leguminosa e ligados aos esqueletos carbônicos produzindo os aminoácidos (MARSCHNER, 1995).

As variáveis CARO, FB e FT tem correlação significativa negativa com AMINO ($r = -0,44$; $r = -0,32$ e $r = -0,22$ respectivamente), no qual, tem relação a maturidade fisiológica da planta devido a mudanças no metabolismo celular e alteração estrutural da desagregação do cloroplasto que possui 70% de proteína foliar, onde se tem a decomposição e conversão de clorofila, proteínas e outras moléculas em nutrientes que são translocados da folha para órgãos em crescimento como sementes ou frutos em desenvolvimento (TAIZ, 2017).

Observa-se, correlação positiva de SAC e FT com a variável AT ($r = 0,40$ e $r = 0,25$ respectivamente). Para tanto, houve correlação significativa forte positiva entre CB e CA ($r = 0,78$), CT com CA e CB ($r = 0,98$ e $r = 0,84$), e correlação significativa moderada positiva entre CARO e CA, CT ($r = 0,52$ e $r = 0,41$ respectivamente) e correlação significativamente fraca positiva com CB ($r = 0,23$). Nota-se correlação significativa forte positiva entre FA e CA, CB, CT ($r = 0,95$; $r = 0,77$ e $r = 0,95$ respectivamente) e uma correlação significativa moderada entre FA e CARO ($r = 0,37$). A variável FB expressou correlação significativamente negativa com CA ($r = -0,55$), CB ($r = -0,43$), CT ($r = -0,56$) e FA ($r = 0,73$), tendo apenas correlação significativa fraca positiva com CARO ($r = 0,04$). Uma correlação significativa moderada positiva também foi observada entre FT e CA ($r = 0,36$), CB ($r = 0,32$), CT ($r = 0,35$), CARO ($r = 0,50$) e FB ($r = 0,55$) com correlação significativamente moderada positiva.

Essas correlações positivas entre os pigmentos clorofilianos indicam que o aumento do conteúdo das moléculas de clorofila estão correlacionados ao aumento da outra, onde absorvem energia luminosa para a transformação em energia química e desta em fotoassimilados (THIESEN et al., 2017; SCHNEIDER, 2019).

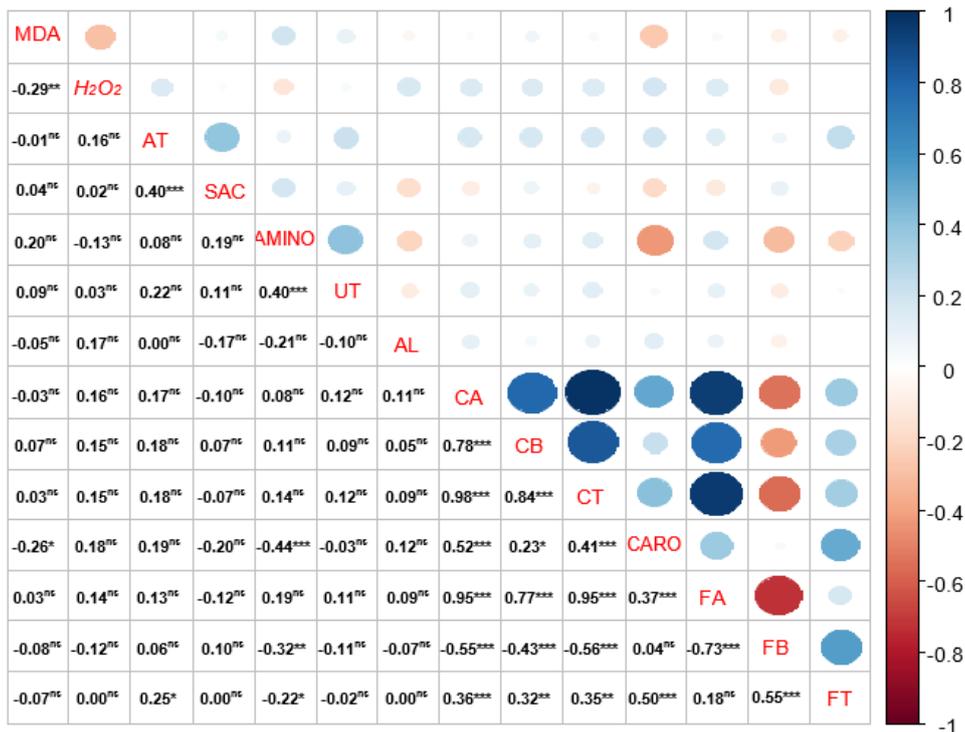


Figura 16. Correlação de Pearson para as variáveis bioquímicas e fisiológicas via foliar nas plantas de soja. Malondialdeído (MDA), Peróxido de hidrogênio (H_2O_2), Açúcar total (AT), Sacarose (SAC), Aminoácidos (AMINO), Ureídeos totais (UT), Ácido alantóico (AL), Clorofila a (CA), Clorofila b (CB), Clorofila total (CT), Carotenoides (CARO), Feofitina a (FA), Feofitina b (FB) e Feofitina total (FT). ***, **, * e ns correspondem respectivamente a significativo a menos de 1%, a 1%, 5% e não significativo.

Com isso, torna-se importante o desenvolvimento de estudos que tragam contribuições em relação a forma de atuação dos microrganismos endofíticos biotecnológicos na agricultura que persistem no solo ou nas plantas, onde os resultados podem variar de acordo com a cultura e região podendo trazer resultados positivos dessa interação (MACHADO et al., 2012; SUASSUNA et al., 2019). O uso de microrganismos na agricultura tem demonstrado mecanismos de ação benéfica trazendo resultados satisfatórios, onde o estudo da formulação adequada de cepas eficazes, doses e épocas de aplicação dos fungos são fatores importantes para a obtenção de maior eficiência no campo (CHAGAS et al., 2021). Assim, o uso de fungos do gênero *Trichoderma* sp. tem se mostrado essencial devido a sua relação simbiótica promovendo aumento da resistência contra estresse, assimilação de macro e micronutrientes, além de melhorar o metabolismo e capacidade das plantas, onde isso promove o uso novas tecnologias que aumente os rendimentos e preserve o meio ambiente (RUBIO et al., 2017; BRASIL, 2019; BARBOSA et al., 2021).

Conclusões

Na cultura da soja a inoculação do *Trichoderma* no estágio V5 e a fertilização com as doses 1500 e 2000 g ha⁻¹ de B tem atuação como protetor de planta. Já o microrganismo nos estádios V5 e R1 e as doses 500, 1000 e 1500 g ha⁻¹ de B induz a produção de feofitinas para degradação das moléculas de clorofila durante a maturidade fisiológica na leguminosa.

A adubação de B sob as doses 500 e 1500 g ha⁻¹ e a inoculação do *Trichoderma* nas V5 e R1 promovem a biossíntese de pigmentos clorofilianos, proporcionando melhorias na atividade fotossintética, resultando no aumento da síntese e translocação de açúcares com o microrganismo nos estádios V5 e R5.

A inoculação de *Trichoderma* e a fertilização até a dose de 1500 g ha⁻¹ de B mediam a exportação dos conteúdos de moléculas ricas em N na forma de ureídeos, e o microrganismo na época V5 e R1 promove a absorção de ácido alantóico. Com isso, a inoculação do fungo na época R5 associado ao B, proporciona melhorias na produção e translocação de aminoácidos e proteínas.

Nos grãos existem correlações positivas entre sacarose e açúcar total, e proteína total com aminoácidos, cujo os aminoácidos se correlacionam negativamente com sacarose. Por outro lado, nas folhas os indicadores de estresse se correlacionam negativamente, fato também observado entre carotenoides e o MDA. Observou-se, correlação positiva das variáveis ureídeos totais e aminoácidos, entre carotenoides, clorofila *a* e *b*, clorofila total, feofitina *a* e feofitina total. Para tanto, carotenoides, feofitina *b* e feofitina total se correlacionam negativamente com aminoácidos.

Referências Bibliográficas

- AGOSTINETTO, D.; OLIVEIRA, C.; LANGARO, A. C.; NOHATTO, M. A.; MANICA-BERTO, R. CHANGE IN PHYSIOLOGICAL FEATURES IN RYEGRASS BIOTYPES IN COMPETITION WITH SOYBEAN DUE RESISTANCE TO GLYPHOSATE1. **Planta Daninha**, v. 34, p. 517-526, 2016.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. (2014). Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift.**, 6(5), 711-728.
- ALEXIEVA, V.; SERGIEV, I.; MAPELLI, S.; KARANOV, E. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. **Plant, Cell and Environment**, v. 24, n. 12, p. 1337-1344, 2001.
- ALVAREZ, V. V. H.; RIBEIRO, A. C.; GUIMARRÃES, P. T. G. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARRÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação**. 2. ed. Viçosa: CFSEMG/UFV, 1999. p. 30-35.
- ARAÚJO, M. S.; MELO, M. A.; HODECKER, B. E. R.; BARRETTO, V. C. M.; ROCHA, E. C. Adubação com boro no crescimento de mudas de mogno-africano. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 5, p. 1-7, 2017.
- ARAÚJO, S. A. C.; DEMINICIS, B. B., Fotoinibição da Fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 7, n. 4, p. 463-472, 2009.
- AYDIN, M.; TOMBULOGLU, G.; SAKCALI, M. S.; HAKEEM, K. R.; TOMBULOGLU, H. (2019) Boron alleviates drought stress by enhancing gene expression and antioxidant enzyme activity. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 19 pg. 545–555.
- BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M de A.; WILLANDINO, L.; ULISSES, C. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v. 44, p. 453-460, 2014.
- BARBOSA, G. G.; COSTA, F. A.; COSTA, A. C.; ULHOA, C. J. Avaliação do potencial de isolados de *Trichoderma* spp. nativos do estado de Mato Grosso do Sul contra o fungo *Colletotrichum musae*, **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 29484-29502, 2021.
- BARCELOS, J. P de Q. **Níquel no controle do oídio (*Erysiphe diffusa*) e ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) na cultura da soja**. Universidade Estadual Paulista (Dissertação), 2016.
- BATISTA, M. A.; INOUE, T. T.; ESPER NETO, M.; MUNIZ, A. S. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. In: BRANDÃO FILHO, J. U. T.; FREITAS, P. S. L.; BERIAN, L. O. S.; GOTO, R. comps. **Hortaliças-fruto [online]**. Maringá: EDUEM, 2018, p. 113-162. ISBN: 978-65-86383-01-0. <https://doi.org/10.7476/9786586383010.0006>.

BELLALOU, N.; MENGISTU, A.; KASSEM, M.; ABEL, C. A.; ZOBIOLE, L. H. S. Role of boron nutrient in nodules growth and nitrogen fixation in soybean genotypes under water stress conditions. In: **Advances in Biology and Ecology of Nitrogen Fixation**. In Tech: Londres, p. 237-258, 2014.

BOGIANI, J. C.; AMARO, A. C. E.; ROSOLEM, C. A. Carbohydrate production and transport in cotton cultivars grown under boron deficiency. **Scientia Agricola**, v. 70, p. 442-448, 2013.

BORRMANN, D. **Efeito do déficit hídrico em características químicas e bioquímicas da soja e na degradação da clorofila, com ênfase na formação de metabolitos incolores**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Biodefensive market grows more than 70% in Brazil in one year**. 2019. Available in: <<http://www.agricultura.gov.br/noticias/feffmercado-de-biodefensivos-cresce-em-mais-de-50-no-brasil>>. Access on: 13 of jan. of 2022.

BRDAR-JOKANOVIĆ, M. Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 4, p. 1424, 2020.

BROWN, P. H.; BELLALOU, N.; WIMMER, M. A.; BASSIL, E. S.; RUIZ, J.; HU, H.; RÖMHELD, V. Boron in plant biology. **Plant biology**, v. 4, n. 2, p. 205-223, 2002.

BROADLEY, M.; BROWN, P.; ÇAKMAK, I.; RENGEL, Z.; ZHAO, F. Função dos nutrientes: Micronutrientes. Em *nutrição mineral de Marschner de plantas superiores*, ed. P. Marschner, 191 - 248, 3ª ed. San Diego, CA : Elsevier. 2012.

ÇAKMAK, I.; RÖMHELD, V. Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. **Plant and Soil**, v. 193, n. 1, p. 71-83, 1997.

CALONEGO, J. C.; OCANI, K.; OCANI, M.; DOS SANTOS, C. H.. Adubação boratada foliar na cultura da soja. In: **Colloquium Agrariae. ISSN: 1809-8215**. v.6, n.2, p. 20-26, 2010.

CAMPO, P. Manual de segurança e qualidade para a cultura da soja. **Brasília, DF: Embrapa Transferência de Tecnologia**, 2005.

CANATTO, R. A.; AGUIAR, L. F.; JUSTINO, G. C.; SOUZA, L. A.; CAMARGOS, L. S. O nitrato influencia o metabolismo de compostos nitrogenados em calopogônio (*Calopogonium mucunoides*) ao longo do ciclo de vida. **Biotemas**, v. 27, n. 1, p. 1-8, 2014.

CANTO, W. L.; TURATTI, J. M. Produção e mercado de produtos intermediários proteicos de soja no Brasil. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v.7, n.2, p.111-139, 1989.

CARVALHO, F. I. F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal. Pelotas: **Editora UFPel**, p. 142, 2004.

CASTRO, P. R de C.; CARVALHO, M. E. A. Aminoácidos e suas aplicações na agricultura. **Piracicaba: ESALQ/USP**, 2014.

CAVERZAN, A.; CASASSOLA, A.; BRAMMER, S. P. Reactive oxygen species and antioxidant enzymes involved in plant tolerance to stress. SHANKER AK & SHANKER C. Abiotic and biotic stress in plants-Recent advances and future perspectives. **Publisher InTech**, p. 463-480, 2016.

CONTRERAS-CORNEJO, H. A.; MACIAS-RODRÍGUEZ, L.; CORTÉS-PENAGOS, C.; & LÓPEZ-BUCIO, J. (2009). *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin dependent mechanism in Arabidopsis. **Plant Physiology**, v. 149, p. 1579–1592.

CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Brasília, v. 8, n. 11, p. 109, 2021.

CHAGAS, L. F. B.; CHAGAS JUNIOR, A. F.; SOARES, L. P.; FIDELIS, R. R.; Trichoderma na promoção do crescimento vegetal. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v.4, n. 3, p. 97-102, 2017.

CHAGAS, L. F. B.; JUNIOR, A. F. C.; MARTINS, A. L. L.; COLONIA, B. S. O. FILHO, M. R de C.; MILLER, L de O. Biomass efficiency and productivity of soybean inoculated with Trichoderma. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 11, p. 109950-109964, 2021.

CHEN, L. S.; HAN, S.; QI, Y. P.; YANG, L. T. Boron stresses and tolerance in citrus. **African Journal Biotechnology**. 11 (22), 5961–5969 (2012).

CHOUDHURY, S.; DE PIYALEE, P.; SAHOO, L.; KUMAR, P. S. Reactive oxygen species signaling in plants under abiotic stress. **Plant signaling & behavior**, v. 8, n. 4, p. 23681, 2013.

DALIAKOPOULOS, I.N.; APOSTOLAKIS, A.; WRAIVA, K.; DELIGIANNI, A.; STAMATAKIS, A.; TSANIS, I. K. (2019). Efficacy of *Trichoderma harzianum* in soil conservation and tomato yield under saline irrigation. **CATENA**, 175,144 - 153. DOI 10.1016 / j.catena.2018.12.009.

DAS, T.; MAHAPATRA, S.; DAS, S. In vitro compatibility study between the Rhizobium and native Trichoderma isolates from lentil rhizospheric soil. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences** , v. 6 , n. 8, p. 1757 – 1769, 2017.

DAS, K.; ROYCHOUDHURY, A. (2014). Reactive oxygen species (ROS) and antioxidant response as ROS scavengers during environmental stress in plants. **Front. Environ. Sci.** 2:53. doi: 10.3389 / fevs.2014.00053.

DEBONA, D.; RODRIGUES, F. A. Alterações bioquímicas nas folhas de plantas de trigo infectadas por *Pyricularia oryzae*. **Fitopatologia**, v. 102, n. 12, p. 1121-1129, 2012.

DELGADO, C. M. L.; COELHO, C. M. M de; BUBA, G. P. Mobilization of reserves and vigor of soybean seeds under desiccation with glufosinate ammonium. **Journal of Seed Science**, v. 37, p. 154-161, 2015.

DE MARCOS LAPAZ, A.; FIRMINO, A. C.; CAMARGOS, L. S de.; TOMAZ, R. S. **Comportamento fisió-bioquímico da soja em resposta ao encantamento do solo associado ao excesso de ferro**. 2020. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista (Unesp). Faculdade de Engenharia. Ilha Solteira.

DE OLIVEIRA, M. A.; CARRÃO-PANIZZI, M. C.; LEITE, R. S.; CAMPOS FILHO, P. J de.; VICENTINI, M. B. Quantificação dos teores de açúcares, oligossacarídeos e amido em genótipos/cultivares de soja (*Glycine Max* (L) Merrill) especiais utilizados para alimentação humana. **Embrapa Soja-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2010.

DOMINGUEZ, S.; RUBIO, M. R.; CARDOZA, R. E.; GUTIERREZ, S.; NICOLÁS, C.; BETTIOL, W. Nitrogen metabolism and growth enhancement in tomato plants challenged with *Trichoderma harzianum* expressing the *Aspergillus nidulans* acetamidase *amdS* gene. **Frontiers in Microbiology**, v. 7, p. 1182, 2016.

DONI, F.; ISAHAK, A.; ZAIN, C. R. C. M.; YUSOFF, W. M. W. Physiological and growth response of rice plants (*Oryza sativa* L.) to *Trichoderma* spp. inoculants. **Amb Express**, v. 4, n. 1, p. 1-7, 2014.

DOS SANTOS, G. R.; FERREIRA, W. X.; MENDES, T de O.; MACHADO, R. C. L.; DA SILVA, G. B. Indução de crescimento em mudas de açaizeiro com o fungo *Trichoderma asperillum*. **III Congresso Internacional das Ciências Agrárias**, 2018. DOI: <https://doi.org/10.31692/2526-7701.IIICOINTERPDVAGRO.2018.00001>

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS., P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**. v. 28, p. 350-356, 1956.

DURAN V. A.; TODD C. D. Four allantoinase genes are expressed in nitrogen-fixing soybean. **Plant Physiology and Biochemistry**. 2012 May;54:149-55. doi: 10.1016/j.plaphy.2012.03.002. Epub 2012 Mar 10. PMID: 22476036.

EMBRAPA - Solos, 2018. Sistema Brasileiro de classificação de solos. 5a ed., Brasília: EMBRAPA Solos, p. 356.

ERDAW, M. M.; BHUIYAN, M. M.; IJI, P. A. Enhancing the nutritional value of soybeans for poultry through supplementation with new-generation feed enzymes. **World's Poultry Science Journal**, v. 72, n. 2, p. 307-322, 2016.

FABRE, F.; PLANCHON, C. Nitrogen nutrition, yield and protein content in soybean. **Plant Science**, v. 152, n. 1, p. 51-58, 2000.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. Ecofisiologia da soja. **Embrapa Soja-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2007.

FILIPPI, S. B.; AZEVEDO, R. A.; SODEK, L.; MAZZAFERA, P. Allantoin has a limited role as nitrogen source in cultured coffee cells. **Journal of plant physiology**, v. 164, n. 5, p. 544-552, 2007.

FU, G.; SONG, J.; XIONG, J.; LI, Y.; CHEN, H.; LE, M., TAO, L. (2011) Changes of oxidative stress and soluble sugar in anthers involve in rice pollen abortion under drought stress. **Agricultural Sciences in China**, v. 10, p. 1016–1025

FUJIYAMA, B. S.; SILVA, A. R. B.; SILVA JÚNIOR, M. L.; CARDOSO, N. R. P.; FONSECA, A. B.; VIANA, R. G.; SAMPAIO, L. S. Boron fertilization enhances photosynthesis and water use efficiency in soybean at vegetative growth stage. **Journal Plant Nutrition**. 2019, v. 42, p. 2498–2506

GALLETTI, S.; FORNASIER, F.; CIANCHETTA, S.; LAZZERI, L. Soil incorporation of brassica materials and seed treatment with *Trichoderma harzianum*: Effects on melon growth and soil microbial activity. **Industrial Crops and Products**, v. 75, p. 73-78, 2015.

GOOGLE EARTH PRO. Website, 2020. Disponível em:< <https://google-earth-pro.gosur.com/>>. Acesso: 07 de dez. de 2021.

GOMES, M. S. O.; SINNECKER, P.; TANAKA, R. T.; LANFER-MARQUEZ, U. M. Effect of harvesting and drying conditions on chlorophyll levels of soybean (*Glycine max* L. Merr). **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 51, n. 6, p. 1634-1639, 2003.

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.

HAN, S.; CHEN, L. S.; JIANG, H. X.; SMITH, B. R.; YANG, L. T.; XIE, C. Y. Boron deficiency decreases growth and photosynthesis, and increases starch and hexoses in leaves of citrus seedlings. **Journal of plant physiology**, v. 165, n. 13, p. 1331-1341, 2008.

HARMAN, G. E.; HOWELL, C. R.; VITERBO, A.; CHET, I.; LORITO, M. *Trichoderma* species-opportunistic, avirulent plant symbionts. **Nature Reviews Microbiology**, v. 2, n. 1, p. 43-56, 2004.

HEATH, R.L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplast. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Archives in Biochemistry Biophysics**, Dusseldorf, v. 125, p. 2141-2145, 1968.

HEATON, J. W.; MARANGONI, A. G. Chlorophyll degradation in processed foods and senescent plant tissues. **Trends in Food Science & Technology**, v. 7, n. 1, p. 8-15, 1996.

HERMOSA, R.; VITERBO, A.; CHET, I.; MONTE, E. (2012). Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes. **Microbiology**. 158(Pt 1), p. 17-25.

HENNING, F. A.; METZ, L. M.; JUNIOR, E. A. J.; MACHADO, R. D.; FISS, G.; ZIMMER, P. D. Composição química e mobilização de reservas em sementes de soja de alto e baixo vigor. **Bragantia**, v. 69, p. 727-734, 2010.

HOSSAIN, M. A.; BHATTACHARJEE, S.; ARMIN, S. M.; QIAN, P.; XIN, W.; LI, H. Y.; BURRITT, D. J.; FUJITA, M.; TRAN, L. S. P. Hydrogen peroxide priming modulates abiotic oxidative stress tolerance: insights from ROS detoxification and scavenging. **Frontiers in plant science**, v. 6, p. 420, 2015.

HUNG, R.; RODRIGUEZ-SAONA, C.; BENNETT, J. W. Common gas phase molecules from fungi affect seed germination and plant health in *Arabidopsis thaliana*. **AMB Express**, v. 4, n. 1, p. 1-7, 2014.

IKRAM, M.; ALI, N.; JAM, G.; IQBAL, A.; HAMAYUN, M.; JAN, F. G.; HUSSAIN, A.; LEE, I. J. *Trichoderma reesei* improved the nutrition status of wheat crop under salt stress. **Journal of Plant Interactions**, v. 14, n. 1, p. 590-602, 2019.

IQBAL, N.; UMAR, S.; KHAN, N. A. Nitrogen availability regulates proline and ethylene production and alleviates salinity stress in mustard (*Brassica juncea*). **Journal of Plant Physiology**, v. 178, p. 84-91, 2015.

JIA, M. X.; SHI, Y.; DI, W.; JIANG, X. R.; XU, J.; LIU, Y. (2017) ROS-induced oxidative stress is closely related to pollen deterioration following cryopreservation. **In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant** 53:433–439.

JIANG, X.; GENG, A.; HE, N.; LI, Q. New *Trichoderma viride* strain isolate for enhanced cellulolytic enzyme complex production. **Journal of Bioscience and Bioengineering**. 2011; 4: 121–12

JOHNSON-FLANAGAN, A. M.; THIAGARAJAH, M. R. Degreening in canola (*Brassica napus* cv. Westar) embryos under optimum conditions. **Journal of Plant Physiology**, v. 136, n. 2, p. 180-186, 1990.

JUNGES, E.; MUNIZ, M. F. B. **Indução de resistência à antracnose em feijoeiro por *Trichoderma harzianum* E *Bacillus subtilis*** . 2016. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

KABU, M.; AKOSMAN, M. S. Biological effects of boron. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 225, p. 57–75, 2013.

KADDES, A.; FAUCONNIER, M. L.; SASSI, K.; NASRAOUI, B.; JIJAKLI, M. H. Endophytic fungal volatile compounds as solution for sustainable agriculture. **Molecules**, v. 24, n. 6, p. 1065, 2019.

KALIA, R.; SAREEN, S.; NAGPAL, A.; KATNORIA, J.; BHARDWAJ, R. ROS-induced transcription factors during oxidative stress in plants: a tabulated review. In: **Reactive Oxygen Species and Antioxidant Systems in Plants: Role and Regulation under Abiotic Stress**. Springer, Singapore, 2017, p. 129-158.

KANCHISWAMY, C. N.; MALNOY, M.; MAFFEI, M. E. Bioprospecting bacterial and fungal volatiles for sustainable agriculture. **Trends in Plant Science**, v. 20, n. 4, p. 206-211, 2015.

KAYIHAN, D. S.; KAYIHAN, C.; ÇİFTÇİ, Y. Ö. Regulamentações responsivas ao excesso de boro do mecanismo antioxidante em níveis fisió-bioquímicos e moleculares em *Arabidopsis thaliana*. **Fisiologia Vegetal e Bioquímica**, 109, p. 337- 345, 2016.

KIRKBY, E. Introdução, definição e classificação de nutrientes. **Em nutrição mineral de Marschner de plantas superiores**, ed. P. Marschner, 3 - 5, 3ª ed. San Diego, CA : Elsevier. 2012.

KIM, Y.H.; KHAN, A. L.; WAQAS, M.; LEE, I. J. Silicon regulates antioxidant activities of crop plants under abiotic-induced oxidative stress: a review. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 510, 2017.

LACERDA, E. G.; SANCHES, L. F. J.; QUEIROZ, J. O.; DA SILVA, C. P. Adubação nitrogenada no vigor das mudas, concentração de aminoácidos e proteínas totais e no teor de clorofila no feijão-de-corda (*Vigna Unguiculata*). **AGRI-ENVIRONMENTAL SCIENCES**, v. 6, p. 11-11, 2020.

LACERDA, A. L. de S.; SANTOS, J. N. B. dos.; JUNIOR, A. G. C.; TARSITANO, R. A.; SILVA, R. S. da. (2021). Determination of amino acids and nutritional aspects in transgenic soybean exposed to glyphosate/ Determinação de aminoácidos e aspectos nutricionais na soja transgênica exposta ao glifosato. **Brazilian Journal of Development**, 7(6), 58068–58078. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n6-283>

LAPAZ, A de M. Comportamento fisió-bioquímico da soja em resposta ao encharcamento do solo associado ao excesso de ferro. Universidade Estadual Paulista (Dissertação), 2019.

LAMBERS, H.; CHAPIN I. I. I. F. S; PONS, T. L. 2008. **Plant Physiological Ecology**. Springer, New York. p.540.

LANDI, M.; DEGL'INNOCENTI, E.; PARDOSSI, A.; GUIDI, L. Antioxidant and photosynthetic responses in plants under boron toxicity: a review. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v. 7, n. 3, p. 255-270, 2012.

LANZA, M. G. D. B.; DOS REIS, A. R. Roles of selenium in mineral plant nutrition: ROS scavenging responses against abiotic stresses. **Plant Physiology and Biochemistry**, 2021.

LARIOS LARIOS, E. J.; NAVA, J de J. W. V.; CUPUL, W. C.; LÓPEZ, F. A. G.; SÁNCHEZ, G. M.; NAVA, M. T. B. Biocontrol de Damping off y promoción del crecimiento vegetativo en plantas de Capsicum chinense (Jacq) con *Trichoderma* spp. **Revista mexicana de ciencias agrícolas**, v. 10, n. 3, p. 471-483, 2019.

LEE, S.; YAP, M.; BEHRINGER, G.; HUNG, R.; BENNETT, W. Volatile organic compounds emitted by *Trichoderma* species mediate plant growth. **Fungal biology and biotechnology**, v. 3, n. 1, p. 1-14, 2016.

LEONARD, A.; HOLLOWAY, B.; GUO, M.; RUPE, M.; YU, G.; BEATTY, M.; ZASTROW-HAYES, G.; MEELEY, R.; LLACA, V.; BUTLER, K.; STEFANI, T.; JAQUETH, J.; LI, B. (2014) Tassel-less1 encodes a boron channel protein required for inflorescence development in maize. **Plant and Cell Physiology**, 55: p.1044–1054.

LI, M.; ZHAO, Z.; ZHANG, Z.; ZHANG, W.; ZHOU, J.; XU, F.; LIU, X. (2017). Effect of boron deficiency on anatomical structure and chemical composition of petioles and photosynthesis of leaves in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Scientific Reports** 7: p.1–9.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. **Methods in Enzymology**, v. 148, p. 350-382, 1987. [http://dx.doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](http://dx.doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)

LU, Y. B.; YANG, L. T.; LI, Y.; XU, J.; LIAO, T. T.; CHEN, Y. B.; CHEN, L. S. Effects of boron deficiency on major metabolites, key enzymes and gas exchange in leaves and roots of *Citrus sinensis* seedlings. **Tree physiology**, v. 34, n. 6, p. 608-618, 2014.

LUCON, C. M. M. **Trichoderma**: o que é, para que serve e como usar corretamente na lavoura. São Paulo: Instituto Biológico, 2014. p.35.

LUKASZEWSKI, K. M.; BLEVINS, D. G. Root growth inhibition in boron deficient or aluminum-stressed squash may be a result of impaired ascorbate metabolism. **Plant Physiology**, v. 112, p. 1135-1140, 1996.

MACHADO, R. G.; SÁ, E. L. S.; DAMASCENO, R. G.; HAHN, L.; ALMEIDA, D.; MORAES, T.; CAMARGO, F. A. O.; REARTES, D. S. Promoção de crescimento de *Lotus corniculatus* L. e *Avena strigosa* Schreb pela inoculação conjunta de *Trichoderma harzianum* e rizóbio. **Revista Ciência e Natura**, v. 33, n. 2, p. 111-126, 2011.

MALMIERCA, M. G.; BARUA, J.; MCCORMICK, S. P.; IZQUIERDO-BUENO, I.; CARDOZA, R. E.; ALEXANDER, N. J.; HERMOSA, R.; COLLADO, I. G.; MONTE, E.; GUTIÉRREZ. (2015). Novel aspinolide production by *Trichoderma arundinaceum* with a potential role in *Botrytis cinerea* antagonistic activity and plant defence priming. **Environ. Microbiol.** 17, 1103–1118. doi: 10.1111/1462-2920.12514

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, J. C. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 2002. p. 200.

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

MAMANI-HUARCAYA, B. M.; LUQUE, B.; CEACERO, C. J.; CUTIRE, O. F.; REXACH, J. Caracterización fisiológica de tres razas de maíz peruano cultivadas con altos contenidos de boro. **Ciencia & Desarrollo**, n. 26, p. 32-40, 2020.

MANGOS, T. J.; BERGER, R. G. Determination of major chlorophyll degradation products. **Zeitschrift für Lebens mitteluntersuchung und-Forschung A**, v. 204, n. 5, p. 345-350, 1997.

MARTINS, R. C.; SILVA, C. L. M. 2002. Modelling colour and chlorophyll losses of frozen green beans (*Phaseolus vulgaris*, L.). **International Journal of Refrigeration**, 25: p.966-974.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plant. 2.ed. New York: **Academic Press**, 1995. p. 889.

MASUDA, R.; MOSCARDI, F.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; SARAIVA, O. F.; GALERANI, P. R.; KRZYZANOWSKI, F. C.; CARRÃO-PANIZZI, M. C. The strategy for sweetness increase of vegetable soybeans: maltose, another sugar in boiled seeds. In: **Proceedings VII World Soybean Research Conference, IV International Soybean Processing and Utilization Conference, III Congresso Brasileiro de Soja (Brazilian Soybean Congress), Foz do Iguassu, PR, Brazil, 29 February-5 March, 2004**. Brazilian Agricultural Research Corporation, National Soybean Research Center. 2004, p. 839-844.

MATHIAS, V.; COELHO, C. M. M.; GARCIA, J. SOLUBLE PROTEIN AS INDICATIVE OF PHYSIOLOGICAL QUALITY OF SOYBEAN SEEDS¹. **Revista Caatinga**, v. 32, p. 730-740, 2019.

MEHMOOD, A.; SALEEM, M. F.; TAHIR, M.; SARWAR, M. A.; ABBAS, T.; ZOHAIB, A.; ABBAS, H. T. Sunflower (*Helianthus annuus* L.) growth, yield and oil quality response to combined application of nitrogen and boron. **Pakistan Journal of Agricultural Research**, v. 31, n. 1, p. 86-97, 2018.

MENDES, J. B. S.; NETO, V. P da C.; SOUSA, C. D. A de.; FILHO, M. R de C.; RODRIGUES, A. C.; BONIFACIO, A. Trichoderma and bradyrhizobia act synergistically and enhance the growth rate, biomass and photosynthetic pigments of cowpea (*Vigna unguiculata*) grown in controlled conditions. **Symbiosis**, v. 80, n. 2, p. 133-143, 2020.

MENDOZA-MENDOZA, A.; ZAID, R.; LAWRY, R.; HERMOSA, R.; MONTE, E.; HORWITZ, B. A.; MUKHERJEE, P. K. Molecular dialogues between Trichoderma and roots: role of the fungal secretome. **Fungal Biology Reviews**, v. 32, n. 2, p.62-85, 2018.

MITTLER, R. ROS are good. **Trends in Plant Science**, v.22, n.1, p.11-19, 2017. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1360138516301121>:>. Acesso: 17 de dez. 2021.

MORÁN-DIEZ, E.; CARDOZA, R. E.; GUTIERREZ, S.; MONTE, E.; HERMOSA, R. TvDim1 of *Trichoderma virens* is involved in redox-processes and confers resistance to oxidative stresses. **Current Genetics**, v. 56, n. 1, p. 63-73, 2010.

MONA, S. A.; ABEER, H.; ELSAYED, F. A.; ABDULAZIZ, A. A.; DINA, W. K. S.; STEPHAN, W.; DILFUZA, E. (2017). Greater dry resistance by treatment with *Trichoderma harzianum* fungus is correlated with an increase in secondary

metabolites and proline content. **Journal of Integrative Agriculture**, 16 (8), 1751 - 1757. DOI 10.1016 / S2095-3119 (17) 61695-2

MORENO-ECHEVERRY, D.; QUIROGA, I. A.; BALAGUERA-LÓPEZ, E.; MAGNITSKIY. El estrés por boro afecta la fotosíntesis y el metabolismo de pigmentos en plantas. Una revisión Boron stress affects photosynthesis and metabolism of plant pigments. A review. **SOCIEDAD COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS-SCCH UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA-UPTC**. p. 137, 2016.

MOREIRA, M. A. Programa de melhoramento genético da qualidade de óleo e proteína da soja desenvolvido na UFV. In: **Congresso brasileiro de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. p. 99-104.

MOUNTS, T. L.; SNYDER, J. M.; HINSCH, R. T.; BONGERS, A. J.; CLASS, A. R. Quality of soybeans in export. *Journal American Oil Chemists' Society*. 1990, v. 67 n. 11, p. 743-746.

MUKHOPADHYAY, M.; GHOSH, P. D.; MONDAL, T. K. Effect of boron deficiency on photosynthesis and antioxidant responses of young tea plantlets. **Russian journal of plant physiology**, v. 60, n. 5, p. 633-639, 2013.

NASCENTE, A. S.; FILIPPI, M. C. C. de; LANNA, A. C.; SOUZA, A. C. A.; LOBO, V. L. S.; SILVA, G. B. Biomass, gas exchange, and nutrient contents in upland rice plants affected by application forms of microorganism growth promoters. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 3, p. 2956-2965, 2017. DOI: 10.1007/s11356-016-8013-2.

NASCIMENTO, R. **Assimilação de sacarose e atividade de invertase em frutos de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em desenvolvimento**. Viçosa, UFV, Dissertação de Mestrado, 1994.

OLIVEIRA, A. G.; CHAGAS JÚNIOR, A. F.; SANTOS, G. R.; MILLER, L. O.; CHAGAS, L. F. B. Potencial de solubilização de fosfato e produção de AIA por *Trichoderma* spp. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Pombal**, v. 7, n. 3, p. 149-155, 2012.

OZTURK, M.; SAKCALI, S.; GUCEL, S.; TOMBULOGLU, H. Boron and plants. In: **Plant adaptation and phytoremediation**. Springer, Dordrecht, 2010. p. 275-311.

PAULA, S. A de. **Composição bioquímica e fatores antinutricionais de genótipos de soja**. Viçosa, UFV, Dissertação de Mestrado, 2007.

PEREZ, J.; EIGENBRODE, S. D.; HILJE, L.; TRIPEPI, R. R.; AGUILAR, M. E.; MESEN, F. Use of grafting to prevent *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) damage to new world meliaceae species. **Neotropical Entomology**, v.39, n.4, p.618-625, 2007.

PINTO, Z. V.; BETTIOL, W.; LUCON, C. M. M.; MORANDI, M. A. B. Metodologia para avaliação da qualidade de produtos biológicos à base de *Trichoderma* spp. In: **Embrapa Meio Ambiente-Resumo em anais de congresso (ALICE)**.

Tropical Plant Pathology, Brasília, DF, v. 36, p. 488, ago. 2011. Suplemento. Edição dos resumos do XLIV Congresso Brasileiro de Fitopatologia, Bento Gonçalves, ago. 2010. Resumo 745, 2011.

PUPPO, A.; GROTEN, K.; BASTIAN, F.; CARZANIGA, R.; SOUSSI, M.; LUCAS, M. M.; DE FELIPE, M. R.; HARRISON, J.; VANACKER, H.; FOYER, C. H. Legume nodule senescence: roles for redox and hormone signalling in the orchestration of the natural aging process. **New Phytologist**, v. 165, n. 3, p. 683-701, 2005.

PRADO R. M. (2021): Mineral nutrition of tropical plants. **Berna: Springer Nature**, p. 392, 2021.

PRITCHARD, J. R. Oilseed quality requirements for processing. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 60, n. 2Part1, p. 322-332, 1983.

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RAY, J.D.; DHANAPAL, A. P.; SINGH, S. K.; HOYOS-VILLEGAS, V.; SMITH, J. R.; PURCELL, L. C.; KING, C. A.; BOYKIN, D.; CREGAN, P. B.; SONG, Q.; FRITSCHI, F. B. Genome-Wide Association Study of Ureide Concentration in Diverse Maturity Group IV Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] Accessions. G3 (Bethesda). 2015 Sep 14;5(11):2391-403. doi: 10.1534/g3.115.021774. PMID: 26374596; PMCID: PMC4632059.

RECZEK, C. R.; CHANDEL, N. S. ROS-Dependent signal transduction. **Current Opinion in Cell Biology**, v. 33, p. 8–13, abr. 2015.

REIS, A. R dos.; RODAK, B. W.; PUTTI, F. F.; MORAES, M. F de. Papel fisiológico do níquel: essencialidade e toxidez em plantas. **Inform Agronomic**, v. 147, p. 10-24, 2014.

REN, R.; JIANG, X.; DI, W.; LI, Z.; LI, B.; XU, J.; LIU, Y. HSP70 improves the viability of cryopreserved *Paeonia lactiflora* pollen by regulating oxidative stress and apoptosis-like programmed cell death events. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)**, v. 139, n. 1, p. 53-64, 2019.

RODRIGUES, V. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; BOSSOLANI, J. W.; MORETTI, L. G.; PORTUGAL, J. R.; MUNDT, T. T.; OLIVEIRA, S. L.; GARCIA, A.; CALONEGO, J. C.; LOLLATO, R. P. Magnesium foliar supplementation increases grain yield of soybean and maize by improving photosynthetic carbon metabolism and antioxidant metabolism. **Plant**. v.10, p.1-17, 2021.

ROSSONI, E.; WENZEL, C. F.; WOTROVSKI, C.; STREFLING, M. A.; MARCHIORI, R. V. K.; RICHART, A. **Aplicação de boro em pré semeadura na cultura da soja**. II CICA – Congresso Internacional de Ciências Agrárias. Pontifícia Universidade Católica do Paraná, PUCPR - Campus Toledo. 2017.

ROTUNDO, J. L.; BORRÁS, L.; WESTGATE, M. E.; ORF, J. H. Relationship between assimilate supply per seed during seed filling and soybean seed composition. **Field crops research**, v. 112, n. 1, p. 90-96, 2009.

RUBIO, M. B.; QUIJADA, N. M.; PÉREZ, E.; DOMÍNGUEZ, S.; MONTE, E.; HERMOSA, R. Identifying beneficial qualities of *Trichoderma parareesei* for plants. **Applied and environmental microbiology**, v. 80, n. 6, p. 1864-1873, 2014.

RUBIO, M. B.; HERMOSA, R.; VICENTE, R.; GÓMEZ-ACOSTA, F. A.; MORCUENDE, R.; MONTE, E.; BETTIOL, W. The combination of *Trichoderma harzianum* and chemical fertilization leads to the deregulation of phytohormone networking, preventing the adaptive responses of tomato plants to salt stress. **Frontiers in Plant Science**, v.8, n. 294, p.1-14, 2017.

RUIZ-CISNEROS, M. F.; ORNELAS-PAZ, J de J.; OLIVAS-OROZCO, G. I.; ACOSTA-MUÑIZ, C. H.; SEPÚLVEDA-AHUMADA, D. R.; PÉREZ-CORRAL, D. A.; RIOS-VELASCO, C.; SALAS-MARINA, M. Á.; FERNÁNDEZ-PAVÍA, S. P. Effect of *Trichoderma* spp. and phytopathogenic fungi on plant growth and tomato fruit quality. **Revista mexicana de fitopatología**, v. 36, n. 3, p. 444-456, 2018.

SALVADOR, M. C. Dióxido de carbono e temperatura afetam aspectos biológicos de *Anticarsia gemmatalis* e metabólitos primários e secundários em soja. **Embrapa Soja-Tese/dissertação (ALICE)**, 2014.

SAMOLSKI, I.; RINCÓN, A. M.; PINZÓN, L. M.; VITERBO, A.; MONTE, E. The *qid74* gene from *Trichoderma harzianum* has a role in root architecture and plant biofertilization. **Microbiology**, v. 158, n. 1, p. 129-138, 2012.

SANTACHIARA, G.; BORRÁS, L.; ROTUNDO, J. L. Physiological processes leading to similar yield in contrasting soybean maturity groups. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 1, p. 158-167, 2017.

SANTOS, F. C dos.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; FOLONI, J. M.; FILHO, M. R de A.; KER, J. C. Produtividade e aspectos nutricionais de plantas de soja cultivadas em solos de cerrado com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2015-2025, 2008.

SANTOS, P. S dos.; COSTA, I. F. D da. **Resposta bioquímica de cultivares de soja à *Meloidogyne javanica***. 2020. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BOREM, A. Soja do Plantio à colheita. Viçosa: **Editora UFV**, MG, 2015. p. 333.

SILVA, FABIO CESAR DA SILVA et al. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. ISBN: 978-85-7383-430-7

SILVA, H. C.; BRAGA, G. L.; BIANCHI, M. L. P.; ROSSE, E. A. Effect of germination on oligosaccharide and reducing sugar contents of Brazilian soybean cultivars. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 2, n. 1, 2009.

SILVA, J. C.; TORRES, D. B.; LUSTOSA, D. C.; FILIPPI, M. C. C.; SILVA, G. B. Rice sheath blight biocontrol and growth promotion by Trichoderma isolates from the Amazon. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, Belém-PA, v. 55, n. 4, p. 243-250, 2012.

SINNECKER, P.; BRAGA, N.; MACCIONE, E. L. A.; LANFER-MARQUEZ, U. M. Mechanism of soybean (*Glycine max* L. Merrill) degreening related to maturity stage and postharvest drying temperature. **Postharvest Biology and Technology**, v. 38, n. 3, p. 269-279, 2005.

SOLIMAN, M. H.; ALNUSARIE, T. S.; ABDELBAKY, N. F.; ALAYAFI, A. A. M.; HASANUZZAMAN, M.; ROWEZAK, M. M.; EL-ESAWI, M.; ELKELISH, A. Trichoderma-induced improvement in growth, photosynthetic pigments, proline, and glutathione levels in cucurbita pepo seedlings under salt stress. **Phyton**, v. 89, n. 3, p. 473, 2020.

SOARES, L. H. **Alterações fisiológicas e fenométricas na cultura de soja devido ao uso de lactofen, cinetina, ácido salicílico e boro**. 2016. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz.

SOARES, L. H.; DOURADO NETO, D.; FAGAN, E. B.; TEIXEIRA, W. F.; PEREIRA, I. S. (2017). Physiological, phenometric and productive changes in soybean crop due to the use of kinetin. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 47(1), 80–86. <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4742790>

SUASSUNA, N. D.; SILVA, J. C.; BETTIOL, W. Uso do Trichoderma na cultura do algodão. In: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. (eds.). Trichoderma: Uso na Agricultura. **Embrapa, Brasília**. p. 361-379, 2019.

SUZUKI, Y.; TANABE, K.; SHIOI, Y. Determination of chemical oxidation products of chlorophyll and porphyrin by high-performance liquid chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 839, n. 1-2, p. 85-91, 1999.

SCHWARTZ, S. J.; LORENZO, T. V. Chlorophylls in foods. **Critical Reviews in Food Science & Nutrition**, v. 29, n. 1, p. 1-17, 1990.

SCHNEIDER, J. R.; JUNIOR, G. L. C. L. **Bioquímica e fisiologia da soja em ambiente protegido sob variações de déficit hídrico, xenobiótico e bioestimulante**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Passo Fundo, 2019.

SHAH, A.; WU, X.; ULLAH, A.; FAHAD, S.; MUHAMMAD, R.; YAN, L.; JIANG, C. Deficiency and toxicity of boron: alterations in growth, oxidative damage and uptake by citrange orange plants. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 145, p. 575-582, 2017.

SHORESH, M.; HARMAN, G. E.; MASTOURI, F. Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. **Annual review of phytopathology**, v. 48, p. 21-43, 2010.

SHIMOKAWA, K.; SHIMADA, S.; YAEO, K. Ethylene-enhanced chlorophyllase activity during degreening of Citrus unshiu Marc. **Scientia Horticulturae**, v. 8, n. 2, p. 129-135, 1978.

SHUKLA, N.; AWASTHI, R. P.; RAWAT, L.; KUMAR, J. Seed biopriming with drought tolerant isolates of *Trichoderma harzianum* promote growth and drought tolerance in *Triticum aestivum*. **Annals of applied Biology**, v. 166, n. 2, p. 171-182, 2015.

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W.; HECKTHEUER, L. H. H. As clorofilas. **Ciência Rural**, 35(3), p. 748-755. 2005.

STEFFEN, G. P. K.; MALDANER, J. **Metodologia para multiplicação de *Trichoderma sp.* em substratos orgânicos**. Porto Alegre: SEAPDR/DDPA, 2019, p. 22 (Boletim Técnico: pesquisa e desenvolvimento, n. 1)

TAIZ, LINCOLN et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. Ed., Artmed Editora, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed., Artmed, 2013. p.918.

TEIXEIRA, A. I. **Herdabilidades e correlações entre concentrações de proteína em soja avaliadas por diferentes metodologias**. Viçosa, UFV, Dissertação de Mestrado, 2003.

THIESEN, L. A.; PINHEIRO, M. V. M.; HOLZ, E.; FONTANA, D. C.; DOS SANTOS, J. Pearson correlation between photosintetizant pigments and phytomass of plants of *Aloysia Triphylla*. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, p. 249-257, 2017.

TRCHOUNIAN, A.; PETROSYAN, M.; SAHAKYAN, N. Plant cell redox homeostasis and reactive oxygen species. In: **Redox state as a central regulator of plant-cell stress responses**. Springer, Cham, 2016, p. 25-50.

VAN HANDEL, E. Direct Microdetermination of Sucrose. **Bioquímica analítica**, v. 22, n. 2, p. 280-283, 1968.

VARANDA, M. A. F. **Influência do boro via aplicação foliar em soja na várzea irrigada no Tocantins**. Universidade Federal do Tocantins - Campus de Gurupi, Dissertação de Mestrado, 2017.

VIEIRA, C. R.; DOS SANTOS WEBER, O. L.; SCARAMUZZA, J. F. SATURAÇÃO POR BASES E DOSES DE P NO CRESCIMENTO E NA NUTRIÇÃO DE MUDAS DE CEREJEIRA. **Nativa**, v. 3, n. 1, p. 01-09, 2015.

VITTI, A.; PELLEGRINI, E.; NALI, C.; LOVELLI, S.; SOFO, A.; VALERIO, M.; SCOPA, M.; NUZZACI, M. *Trichoderma harzianum* T-22 induces systemic resistance in tomato infected by Cucumber mosaic virus. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1-11, 2016.

VOGELS, G. D; VAN DER DRIFT, C. Differential Analyses of Glyoxylate Derivatives. **Analyst Biochemistry**, v. 33, n. 1, p. 143-157, 1970.

WAGHUNDE, R. R.; SHELAKE, R. M.; SABALPARA, A. N. *Trichoderma*: A significant fungus for agriculture and environment. **African Journal of Agricultural Research**, Nigéria, v. 11, n. 22, p. 1952-1965, 2016.

WARAICH, E. A.; AHMAD, R.; SAIFULLAH; ASHRAF, M. Y.; EHSANULLAH. Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, p. 764-777, 2011.

WOO, S. L.; RUOCCO, M.; VINALE, F.; NIGRO, M.; MARRA, R.; LOMBARDI, N.; PASCALE, A.; LANZUISE, S.; MANGANIELLO, G.; LORITO, M. Trichoderma-based products and their widespread use in agriculture. **The Open Mycology Journal**, v. 8, n. 1, 2014.

WOO, S. L.; PEPE, O. Microbial consortia: promising probiotics as plant biostimulants for sustainable agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, n. 1801, p.1-6, 2018.

XAVIER, C. V.; NATALE, W. Influência do boro no teor, acúmulo e eficiência nutricional em porta-enxertos de caramboleira. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 1, p. 6-13, 2017.

XAVIER, T. F.; ARAÚJO, A. S. F.; SANTOS, V. B.; CAMPOS, F. L. Ontogenia da nodulação em duas cultivares de feijão caupi. **Ciência Rural**, v. 37, p. 56-564, 2007.

XIE, X.; HE, Z.; CHEN, N.; TANG, Z.; WANG, Q.; CAI, Y. The roles of environmental factors in regulation of oxidative stress in plant. **BioMed research international**, v. 2019, 2019.

YADAV, M. K.; ARAVINDAN, S. S.; GHRITLAHRE, S. K.; ADAK, T.; BERLINER, J. Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. **Pop. Kheti**, v. 3, p. 95-99, 2015.

YADAV, A. N. Biodiversity and biotechnological applications of host-specific endophytic fungi for sustainable agriculture and allied sectors. **Acta Science Microbiology**, v. 1, n. 5, p. 01-05, 2018.

YEMM, E. W; COCKING, E. C; RICKETTS, R. E. The Determination of Amino-acids with Ninhydrin. **Analyst**, v. 80, n. 948, p. 209-214, 1955.

YAMAUCHI, N.; AKIYAMA, Y.; KAKO, S.; HASHINAGA, F. Chlorophyll degradation in Wase satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) fruit with on-tree maturation and ethylene treatment. **Scientia Horticulturae**, v. 71, n. 1-2, p. 35-42, 1997.

ZANON, A. J.; WINCK, J. E. M.; STRECK, N. A.; ROCHA, T. S. M.; CERA, J. C.; RICHTER, G. L.; LAGO, I.; SANTOS, P. M.; MACIEL, L.R.; GUEDES, J. V. C.; MARCHESAN, E. Desenvolvimento de cultivares de soja em função do grupo de maturação e tipo de crescimento em terras altas e terras baixas. **Bragantia**. Campinas, v.74, n.4, p.400-411, 2015.

ZHANG, J.; LIU, J.; YANG, C.; DU, C.; YANG, W. Photosynthetic performance of soybean plants to water deficit under high and low light intensity. **South African Journal of Botany**: Amsterdam, v.105, n.4, p.279-287, jul. 2016.

ZHU, X. G.; STURLER, E.; LONG S. P. Optimizing the distribution of resources between enzymes of carbon metabolism can dramatically increase photosynthetic rate: a numerical simulation using an evolutionary algorithm. **Plant Physiology**, v. 145, p. 513–526, 2007.

3.2 CARACTERÍSTICAS VEGETATIVAS E PRODUTIVAS DE SOJA SOB DOSES DE BORO E INOCULAÇÃO DE *Trichoderma atroviride*

¹ Artigo submetido no periódico “nome do periódico”.

Resumo – (Características vegetativas e produtivas de soja sob doses de boro e inoculação de *Trichoderma atroviride*). A aplicação de novas técnicas de manejo com o objetivo de implementar na agricultura, sendo práticas eficientes e que reduza os custos, além de minimizar os impactos ao meio ambiente e a saúde humana como o uso de microrganismo promotores de crescimento e/ou protetores de plantas e micronutrientes surge como alternativa. Dessa forma, o objetivo do estudo foi avaliar o potencial de *Trichoderma atroviride* em associação com doses de boro (B), analisando os efeitos sob os componentes de rendimento e a produtividade, com enfoque em incrementar no crescimento e proteção das plantas, aumentando a disponibilidade e absorção de nutrientes. O estudo foi conduzido a campo, no delineamento em blocos ao acaso em esquema fatorial 4 x 5, com os tratamentos constituídos pela aplicação de *Trichoderma atroviride* em três estágios fenológicos (V5, R1 e R5) e não aplicação (SEM), e cinco doses de boro (0, 500, 1000, 1500 e 2000 g de B ha⁻¹), sendo que a aplicação da solução do microrganismo e B foram realizadas via foliar. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e quando significativo realizou-se o estudo de regressão polinomial para o fator quantitativo e teste de Tukey para o fator qualitativo. O uso do microrganismo e doses de B não resultou no aumento significativo do crescimento e no rendimento produtivo da soja, porém a aplicação de boro promoveu aumento no número de vagens por planta. As doses de B aplicadas propiciaram o aumento do teor de B foliar.

Palavras-chave: Produção; Fungos endofíticos; Elementos minerais; Fertilização foliar.

Abstract - (Vegetative and productive characteristics of soybean under doses of boron and inoculation of *Trichoderma atroviride*). The application of new management techniques with the objective of implementing in agriculture, being efficient practices that reduce costs, in addition to minimizing impacts to the environment and human health, such as the use of microorganisms that promote growth and/or plant protectors and micronutrients appears as an alternative. Thus, the objective of the study was to evaluate the potential of *Trichoderma atroviride* in association with doses of boron (B), analyzing the effects on the yield components and productivity, with a focus on increasing plant growth and protection, increasing nutrient availability and absorption. The study was carried out in the field, in a randomized block design in a 4 x 5 factorial scheme, with treatments consisting of the application of *Trichoderma atroviride* in three phenological stages (V5, R1 and R5) and no application (SEM), and five doses of boron (0, 500, 1000, 1500 and 2000 g of B ha⁻¹), being that the application of the solution of the microorganism and B was carried through foliar. The data obtained were submitted to analysis of variance and, when significant, a polynomial regression study was performed for the quantitative factor and Tukey's test for the qualitative factor. The use of the microorganism and doses of B did not result in a significant increase in the growth and productive yield of soybean, but the application of boron promoted an increase in the number of pods per plant. The B doses applied led to an increase in the foliar B content.

Key-words: Production; Endophytic fungi; Mineral elements; Leaf fertilization.

Introdução

A soja apresenta grande importância no mercado mundial e brasileiro, e ao longo das últimas décadas merece atenção a expansão na área cultivada com esta leguminosa, assim como a aplicação de novas técnicas de manejo, que tem incrementado a produtividade da cultura (OLIVEIRA et al., 2017). Nessa perspectiva, dentre os avanços científicos para um manejo adequado do solo, destaca-se o melhoramento genético e a adubação apropriada possibilitando que a soja pudesse demonstrar a sua potencialidade em diferentes condições do território brasileiro (FREITAS, 2011).

A adubação com micronutrientes tem sido uma das maneiras de suprir a necessidade da planta e atenuar as deficiências advindas desse desequilíbrio (DA SILVA et al., 2017). Nesse sentido, muitas pesquisas têm indicado que a aplicação foliar de micronutrientes, tal como o boro têm auxiliado nas funções diretamente ligadas a melhorias na produtividade (LEITE, et al., 2011). Com isso, é importante a utilização deste nutriente, o qual possibilita que as plantas realizem funções ligadas à formação das vagens e aumento da granação, desenvolvimento de raízes, divisão celular, metabolização de carboidratos e proteínas, transporte de açúcares, bem como, a realização da síntese de ácidos nucleicos e formação das paredes celulares (MASCARENHAS et al., 2014; ZHOU et al., 2016).

Neste contexto, a busca por uma agricultura menos impactante ao meio ambiente e à saúde humana, tem se caracterizado pela utilização de microrganismos associados aos micronutrientes que possibilitam maior absorção e tolerância aos nutrientes podendo melhorar as atividades bioquímicas, resultando no desenvolvimento mais efetivo das plantas (LANDI et al., 2012; MOREIRA et al., 2019).

Diversas pesquisas têm sido desenvolvidas com os microrganismos do gênero *Trichoderma*, caracterizados como fungos de ampla distribuição e ocorrência no mundo, presentes em diversas classes de solos e habitats naturais, especificamente nos que contém matéria orgânica (HOWELL, 2003; WAGHUNDE et al., 2016). Algumas estirpes de *Trichoderma* tem ocasionado aumento na superfície total do sistema radicular, possibilitando acesso aos elementos minerais (LUCON, 2009; HERMOSA et al., 2013), sendo agentes

capazes de melhorar o mecanismo de absorção de macronutrientes e micronutrientes, ampliando a eficiência da planta para utilizar os nutrientes, de modo que, aumenta a resistência aos estresses bióticos e abióticos (NIETO-JACOBO et al., 2017; REZENDE et al., 2021). Esses microrganismos têm sido reconhecidos também por serem bioestimulantes na promoção de crescimento de plantas e no aumento da produtividade (WOO et al., 2014; BETTIOL et al., 2019).

Com base no exposto, a hipótese neste estudo é que o *Trichoderma atroviride* e o boro poderá promover o crescimento e a proteção das plantas. Com isso, objetivou-se avaliar doses de boro em associação à aplicação de *Trichoderma atroviride* em diferentes fases fenológicas, analisando os efeitos dessa associação, sobre os componentes de rendimento e a produtividade.

Material e Métodos

O estudo foi conduzido na propriedade rural denominada Fazenda Bela Vista (Figura 1) localizada nas coordenadas geográficas 10°02'32" de latitude Sul e 56°06'31" de longitude Oeste, no município de Alta Floresta, estado de Mato Grosso, região localizada dentro da Amazônia Meridional.



Figura 1. Localização da propriedade de estudo destacando a área experimental (Autor, 2021).

O município tem como característica o clima tropical chuvoso (tipo Am), segundo Koppen, com duas estações climáticas distintas, sendo uma chuvosa (setembro a abril) e outra seca (maio a agosto), apresentando precipitação média anual de 2.243 mm (ALVARES et al., 2014), com temperaturas em torno de 18 a 40 °C, expressando médias em torno de 26 °C.

Os dados climáticos durante o período de condução da pesquisa foram obtidos na estação meteorológica da UNEMAT localizado no Campus 1, cujo a distância até a área experimental é de 21 km, onde foram coletados dados de temperatura média, umidade relativa média e precipitação total mensal (Figura 2). No entanto, na safra 2020/21 a região foi afetada pela instabilidade do clima especialmente no momento da colheita, o que não comprometeu o desempenho produtivo, onde segundo o histórico das condições edafoclimáticas para a região Norte Mato-grossense as condições foram consideradas ideais para o cultivo da soja durante o período (CONAB, 2021). Neste contexto, a faixa de temperatura ideal para o desenvolvimento da soja está entre 20 °C e 30 °C, cujo a umidade

relativa superior a 60%, e o consumo de água é de 400 a 800 mm durante todo o ciclo (CAMPO, 2005; FARIAS et al., 2007).

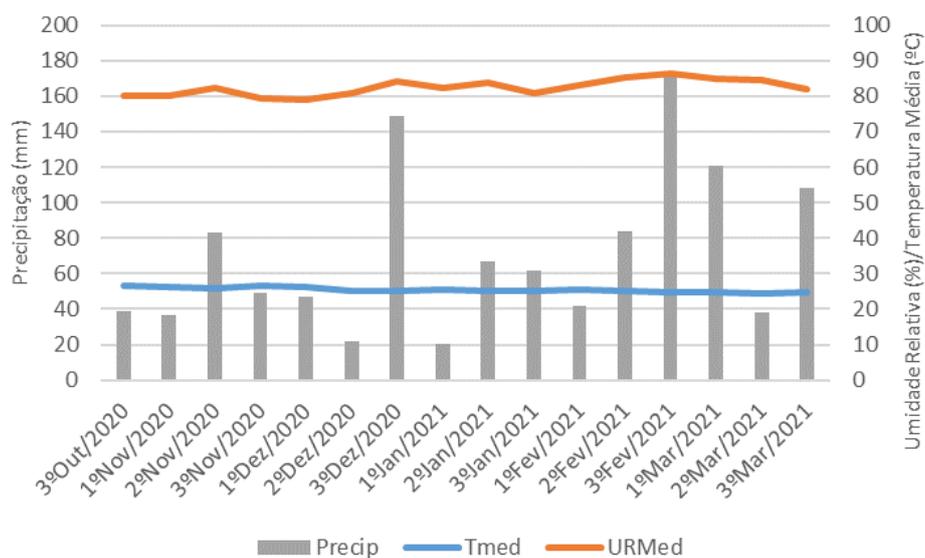


Figura 2. Valores decenciais de temperatura média, umidade relativa média e precipitação pluviométrica registrada na área experimental durante todo ciclo da cultura. Alta Floresta-MT, (2022).

Delineamento experimental

O experimento foi conduzido no delineamento de blocos ao acaso no esquema fatorial de 4 x 5, sendo os tratamentos compostos pela associação da aplicação de *Trichoderma atroviride* em três épocas do estágio fenológico da cultura, sendo o estágio vegetativo com 5 nós (V5), estágio de início do florescimento (R1) e no estágio reprodutivo de formação e enchimento dos grãos (R5) e a não aplicação (SEM), associado a cinco doses de boro (0, 500, 1000, 1500 e 2000 g de B ha⁻¹), onde essas doses são usualmente aplicadas via foliar na cultura (CALONEGO, 2010; ROSSONI et al., 2017; VARANDA, 2017), cujo os tratamentos foram constituídos com 4 repetições cada.

As parcelas foram compostas por 6 linhas de cinco metros, espaçadas em 0,45 m. Para área útil de cada parcela foram consideradas as quatro linhas centrais, desprezando 0,5 m em ambas as extremidades.

O solo da área experimental é classificado como LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico, de classe textural argilo-arenosa, de acordo com os critérios descritos pela EMBRAPA (2018).

Anteriormente a instalação da pesquisa foram coletadas amostras de solo da área experimental na camada de 0-0,20 m que formaram uma amostra composta, a qual foi enviada para análise em laboratório. As propriedades físicas e químicas em relação à fertilidade do solo estão descritas na Tabela 1:

Tabela 1. Resultado da análise química e granulometria do solo na camada de 0-0,20 m de profundidade da área experimental. Alta Floresta – MT, (2021).

Química									
pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	M.O	T	V
Cacl ₂									(SB)
-----mg.dm ⁻³ -----	-----cmol _c .dm ⁻³ -----				g.dm ⁻³	cmol _c .dm ⁻³	%		
5,3	3,1	45,6	2,49	0,75	0	2,5	18,34	5,8	57,3
Micronutrientes e enxofre									
mg.dm ⁻³									
Zn	Cu	Fe	Mn	B	S				
1,5	1,6	191,8	50,8	0,31	15,8				
Física									
Areia			Silte				Argila		
-----g.kg ⁻¹ -----									
476			85				437		

Obs: Análises realizadas seguindo a metodologia da Embrapa (1979). T: Capacidade de troca de cátions a pH 7; V: Saturação por bases; M.O: Matéria orgânica. Fonte: Laboratório Agropecuário Plante Certo.

É possível observar através da análise de solo (Tabela 1), que o teor do micronutriente B segundo Alvarez et al. (1999), se encontra em baixa disponibilidade (0,31 mg dm⁻³), onde este encontra-se próximo ao limite inferior médio (0,36 mg dm⁻³), bem como, o teor de matéria orgânica (18,34 g dm⁻³), que segundo estes mesmos autores, está próximo ao nível de média disponibilidade, cujo limite mínimo é de 20,1 g dm⁻³.

A área experimental é cultivada em sistema de semeadura direta desde o ano de 2016, sendo realizada anualmente a sucessão soja/milho. A semeadura da cultura ocorreu em 23 de outubro de 2020, sendo utilizada a cultivar BMX DESAFIO RR 8473 RSF, no espaçamento de 0,45 m e visando a obtenção 17 plantas por metro linear. As sementes foram tratadas com bactérias, sendo o produto comercial utilizado como fonte de *Bradyrhizobium japonicum* o inoculante Masterfix®, estirpes SEMIA 5019 e SEMIA 5079 (5x10⁹ de células viáveis por g ou mL), e como fonte de *Azospirillum brasilense* o Masterfix Gramíneas®, estirpes Abv5 e Abv6 (2x10⁸ células viáveis por mL).

A adubação de semeadura realizada foi calculada de acordo com os resultados da análise de solo e conforme recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes de Minas Gerais, 5ª aproximação (ALVAREZ et al., 1999), onde foram aplicados 250 kg ha⁻¹ de fosfato monoamônico (MAP) (10 a 12% de N e 48 a 52% de P₂O₅) através da prática de manejo a lanço, e 140 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (KCl – 60% de K₂O) aplicado em cobertura no estágio vegetativo V4. Os tratamentos culturais e fitossanitários foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para a cultura da soja.

Aplicações de Boro e *Trichoderma* sp.

As aplicações de boro na cultura da soja ocorreram via foliar no estágio fenológico R1 (início do florescimento) com auxílio de pulverizador manual, onde calibrou-se uma pressão constante determinando 7 segundos para percorrer os 5 metros de cada linha. A solução contendo boro, se caracterizou pela diluição do produto constituído de boro (ácido bórico - 17% de B), sendo aplicados 300 mL de calda por parcela (equivalente a 222 L ha⁻¹) e a concentração de acordo com cada dose de B.

Os tratamentos com *Trichoderma atroviride* constituiu-se da formulação das soluções utilizando conídios de isolado pertencente ao Laboratório de Microbiologia do Campus de Alta Floresta – UNEMAT. Para isso, primeiramente houve a produção de esporos dos fungos em colônias no meio de cultura constituído por batata-dextrose-ágar (BDA) em placas de Petri (90 mm Ø) as quais foram mantidas em estufa incubadora B.O.D (Biological Oxygen Demand), cujo a temperatura era constante de 25 °C com variação de ±1°C no fotoperíodo de 12 horas claro/escuro durante 20 dias.

Posteriormente realizou-se a multiplicação do isolado do *Trichoderma* em grãos de milho, onde foi pesado 50 g de grãos que foram depositados em um recipiente de vidro, no qual, posteriormente foi adicionado 25 mL de água destilada e em seguida tampado para realizar a esterilização do material em autoclave pelo período de 25 minutos a 121 °C. Logo após, realizou-se em câmara de fluxo laminar, a abertura dos recipientes sendo transferido cinco discos de micélio fúngico proveniente do meio de cultura do isolado de *Trichoderma* crescido em BDA. Posteriormente os recipientes foram

armazenados em estufa incubadora B.O.D com controle de temperatura a 25 °C e luminosidade permanecendo 12 horas no fotoperíodo claro/escuro por 12 horas durante 5 dias para ocorrer a colonização pelo fungo no milho (STEFFEN et al., 2019).

Após esse período, realizou-se a suspensão no qual foi adicionado 1.000 mL de água destilada no recipiente contendo os esporos, onde se formulou a diluição e posteriormente a contagem dos conídios. A partir dessa solução para a contagem, formulou-se uma solução de 10 mL, contendo 9 mL de água destilada e tomando a alíquota de 1 mL da suspensão preparada anteriormente. Em seguida foi utilizado uma alíquota de 100 µl da solução de esporos, sendo depositada na câmara de Neubauer realizando a observação em microscópio óptico. A contagem dos esporos foi realizada no compartimento C (1,0 mm²) na câmara de Neubauer (Figura 3), e após a contagem foram realizados os cálculos conforme a equação descrita por Pinto et al. (2011) onde:

$$\text{Conídio mL}^{-1} = \{[(\text{Campo 1} + \text{Campo 2}) / 2] \times 2,0 \times 10^7\}$$

Em que temos: Campo 1= (E1+E2+E3+E4+E5) e o Campo 2= (E1+E2+E3+E4+E5)

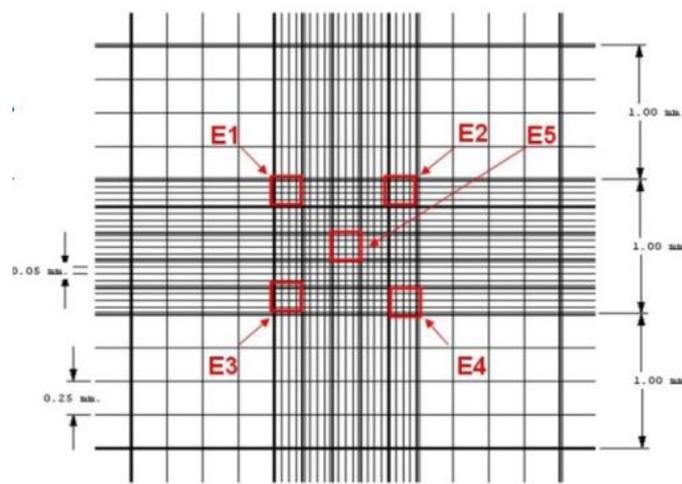


Figura 3. Esquema demonstrando a câmara de Neubauer com área dos subcompartimentos em vermelho para a contagem dos conídios de *Trichoderma atroviride*. Fonte: Pinto et al. (2011).

Nos tratamentos com *Trichoderma* as suspensões foram preparadas seguindo a quantidade padrão 2×10^7 de conídios por mL, no qual, foram formuladas 1.000 mL da suspensão sendo feitas as diluições necessárias.

Após o preparo da suspensão com *Trichoderma* realizou-se as aplicações de 300 mL da solução por parcela (equivalente a 222 L ha⁻¹), onde os tratamentos consistiram-se em três épocas do estágio fenológico da cultura da soja, sendo as aplicações realizadas no estágio vegetativo com 5 nós (V5), estágio reprodutivo de início do florescimento (R1) e no estágio reprodutivo de formação e enchimento dos grãos (R5) e a não aplicação.

Análise do teor foliar de boro

As amostras de folhas foram coletadas no estágio reprodutivo de florescimento pleno (R2) uma semana após a aplicação foliar de B, sendo amostradas as folhas recém desenvolvidas no ápice do ramo principal de 30 plantas na área útil de cada parcela. Logo após a coleta, as folhas foram encaminhadas ao Laboratório de Fitotecnia da Universidade do Estado de Mato Grosso Campus Alta Floresta, sendo higienizadas com água deionizada e detergente neutro, e em seguida, realizou-se a secagem a 65° C em estufa de circulação forçada de ar, durante o período de 72 horas, e após a secagem as folhas foram trituradas em moinho tipo Willey (MALAVOLTA, 1997).

Posteriormente, utilizou-se uma balança de precisão (TECNAL ATX 224) para a pesagem de 500 mg do material moído, no qual, foi armazenado em copos plásticos descartáveis de 50 mL e vedado com plástico filme. As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Tecnologia da Madeira, onde as análises seguiram o protocolo de Silva et al. (2009), através da digestão seca utilizando a mufla (QUIMIS - Q318M), sendo o material de cada amostra transferido para o cadinho de porcelana, e em seguida colocado em mufla, onde se realizou o aumento gradativo da temperatura até atingir 500 °C, permanecendo nesta temperatura durante 3 horas. Após, em cada cadinho de porcelana contendo a cinza adicionou-se 25 mL de ácido nítrico (HNO₃ 1 mol), no qual, o extrato foi transferido para um frasco de plástico e vedado com parafilm.

As amostras foram armazenadas em geladeira, e posteriormente encaminhadas para o Laboratório Solos & Plantas, localizado na cidade de Sorriso (MT), para a determinação do teor de boro. As determinações consistiram na

metodologia utilizada por Mattiello et al. (2011) por meio de plasma acoplado indutivamente (ICP).

Avaliações dos componentes morfológicos e de rendimento

As avaliações morfológicas de altura de planta, altura de inserção da primeira vagem, número de ramos por planta, número de vagem por planta e número de grãos por planta consistiu na avaliação de 10 plantas da área útil de cada parcela. As avaliações foram realizadas no Laboratório de Fitotecnia da Universidade do Estado de Mato Grosso, Campus de Alta Floresta, com auxílio de fita métrica, seguida da contagem dos ramos, das vagens e dos grãos de cada planta.

Para a avaliação da produtividade, realizou-se a colheita manual da área útil no estágio de maturidade completa (R9) no dia 04 de fevereiro de 2021, seguida da secagem das plantas, onde utilizou-se uma trilhadeira mecânica e a limpeza manual, com auxílio de peneira, retirou-se a sobra dos resíduos para a separação dos grãos. A obtenção da produção e massa de 100 grãos foram determinadas por meio da pesagem em balança de precisão (MARTE UX6200H) em que os dados da produção foram transformados em kg ha⁻¹, além disso, realizou-se a medida da umidade com auxílio do medidor de umidade (GEHAKA 600), no qual, efetuou-se a conversão da umidade para 13%.

Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e quando significativo, foi realizado o estudo de regressão polinomial para o fator quantitativo (doses de B) e o teste de comparação de médias de Tukey para o fator qualitativo (época de aplicação), com o auxílio do software estatístico R Core Team (2021). Com isso, realizou-se o teste de correlação de Pearson ($p < 0,05$) por meio do software Sigma Plot.

Resultados e Discussão

A Tabela 2 apresenta os valores obtidos das variáveis morfológicas e de rendimento, avaliadas na cultura da soja em função da época de aplicação do *Trichoderma atroviride* em associação às doses de boro. Verificou-se diferença significativa apenas para “vagens por planta” em relação às doses de B.

Tabela 2. Valores de F e coeficiente de variação CV (%) e valores médios de altura de planta (ALT), altura de inserção da 1ª vagem (INSER), ramos por planta (RP), vagens por planta (VP), grãos por planta (GP), massa de 100 grãos (M100) e produtividade (PROD) de soja em função da época de aplicação de *Trichoderma atroviride* e doses de boro. Alta Floresta-MT, (2021).

	ALT	INSER	RP	VP	GP	M100	PROD
	cm			un		g	kg ha ⁻¹
Épocas (E)							
SEM	76,5	15,6	1,6	40,3	104,8	20,3	4966,2
V5	78,8	15,7	1,6	39,6	102,1	20,4	5330,8
R1	80,0	17,0	1,7	40,9	106,2	20,4	5224,3
R5	78,2	15,9	1,6	38,9	100,9	20,4	4953,8
Valor de F	1,71 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,12 ^{ns}	1,65 ^{ns}
Doses B (D)							
0	81,1	15,9	1,6	39,3	102,9	20,5	5067,5
500	77,1	16,0	1,6	38,6	99,3	20,4	5123,2
1000	78,9	16,5	1,5	40,3	103,5	20,1	5246,1
1500	77,5	15,3	1,7	44,1	112,8	20,3	5273,2
2000	77,4	16,5	1,7	37,8	98,9	20,5	4884,0
Valor de F	1,77 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,42 ^{ns}	2,60*	1,86 ^{ns}	1,46 ^{ns}	0,91 ^{ns}
E * D							
Valor de F	1,05 ^{ns}	1,20 ^{ns}	0,89 ^{ns}	1,05 ^{ns}	1,17 ^{ns}	1,06 ^{ns}	0,86 ^{ns}
CV(%)	6,41	21,57	30,59	15,44	15,85	2,48	12,79

* e ns correspondem respectivamente a significativo a 5% e não significativo pelo teste F.

A ausência de resultado significativo com relação à aplicação de *Trichoderma atroviride*, para todas as variáveis apresentadas na Tabela 2, pode estar no fato de que os fungos do gênero *Trichoderma* exercem efeitos benéficos em diversas culturas em termos de melhoria da produtividade, auxiliando na absorção de nutrientes para as plantas e estimulando a defesa da planta, principalmente contra estresse abiótico, tais como a salinidade e a seca (HERMOSA et al., 2012; MENDOZA-MENDOZA et al., 2018), sendo que na presente pesquisa, nota-se pela observação dos dados climáticos (Figura 2), que a cultura não passou por estresse abióticos ao longo de todo o período de

desenvolvimento, o que justificaria a não observância de resultados significativos para o microrganismo.

A não observação dos resultados significativos para a aplicação das doses de B, pode estar no fato de que, apesar do teor do nutriente no solo (Tabela 1), segundo Alvarez et al. (1999), se encontrar em baixa disponibilidade ($0,31 \text{ mg dm}^{-3}$), este se encontra próximo ao limite inferior médio, que é de $0,36 \text{ mg dm}^{-3}$, assim como o teor de matéria orgânica ($18,34 \text{ g dm}^{-3}$), segundo estes mesmos autores, está próximo ao nível de média disponibilidade, cujo limite mínimo é de $20,1 \text{ g dm}^{-3}$, o que pode ter contribuído para aumentar a disponibilidade de B no solo e assim suprir adequadamente as plantas com esse micronutriente.

Nesse sentido, alguns trabalhos também relatam que o suprimento de boro via foliar não propiciou efeito significativo para altura de planta (SILVA, 2018), altura de inserção da vagem (KAPPES et al., 2008), número de ramos por planta (HEIFFIG et al., 2010; SOUZA et al., 2016), massa de 100 grãos (VARANDA et al., 2018), grãos por planta e produtividade (CALONEGO et al., 2010; NAKAO et al., 2018) assemelhando-se, assim, aos resultados verificados nesta pesquisa.

Em relação ao número de vagens por planta, apesar de existir diferença entre as doses aplicadas, não foi possível adequar os dados a um modelo matemático. Devi et al. (2012) também obtiveram resultado significativo para número de vagens por planta após o fornecimento de B suplementar, sendo que os autores afirmam que isso se deve à influência e papel do micronutriente nos rendimentos em relação a diferenciação celular, desenvolvimento, translocação de fotossintatos e reguladores de crescimento.

Na Figura 4 encontram-se as análises referentes a correlação linear de Pearson, cujo as magnitudes foram classificadas de acordo com Carvalho et al. (2004), seguindo as intensidades: > 0 a $\leq 0,30$ (fraca), $> 0,30$ a $\leq 0,60$ (moderada) e $> 0,60$ a ≤ 1 (forte). Os resultados desta pesquisa mostraram correlação moderada positiva significativa entre altura de planta e altura de inserção da 1ª vagem ($r = 0,51$), no qual, isso ocorre devido ao aumento da densidade da população de plantas, incrementando no aumento dessas variáveis (CRUZ et al., 2016).

No entanto, houve correlação significativa forte positiva entre vagem e ramos por planta ($r = 0,68$), bem como, grãos por planta com ramos e vagem por planta ($r = 0,69$; $r = 0,95$ respectivamente), onde nota-se que vagem por planta foi o componente que mais contribui para a produtividade. Para tanto, isso ocorre devido a maior eficiência e distribuição do uso da energia solar as plantas que tendem a formar mais ramos, aumentando o número de vagens e resultando em maior quantidade de grãos e concentração de assimilados na planta (JUNIOR et al., 2015; ULIANA et al., 2017).

Em contrapartida, a massa de 100 grãos foi a única variável que demonstrou correlação significativa negativa com altura de planta ($r = - 0,24$). Por outro lado, Smiderle et al. (2019) encontrou relação significativa e positiva entre massa de 100 grãos e altura de planta. Já a produtividade da soja e o teor de boro não apresentaram correlações significativas no presente estudo, onde Boaretto et al. (1997) e Rosolem et al. (2008) descrevem que a não ocorrência de correlação dos teores de boro foliar e a produtividade podem ser devido a dificuldade de remover o micronutriente que fica retido na cutícula foliar ou ligado na camada péctica da parede celular, no qual, não é exercido a função metabólica de B na planta.

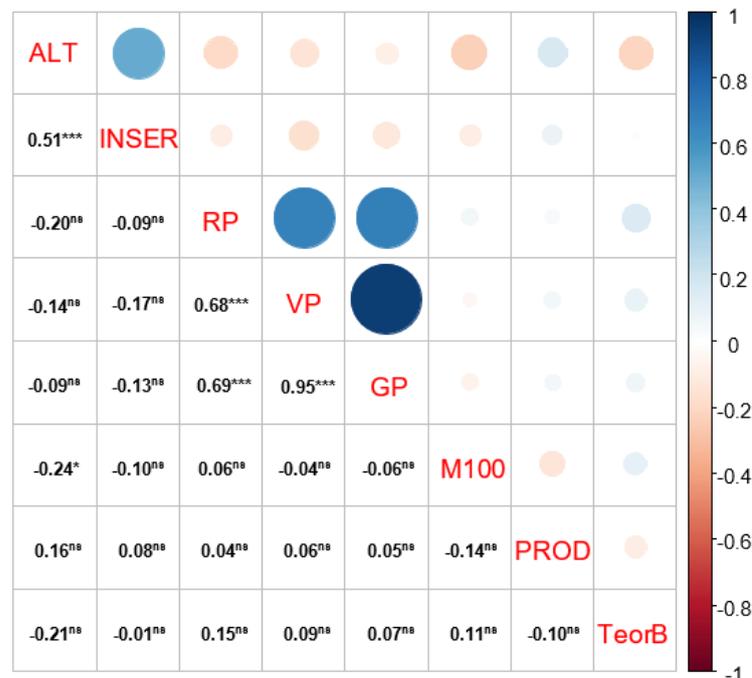


Figura 4. Correlação de Pearson para os componentes de rendimento e produtividade de soja. Altura de planta (ALT), Altura de inserção da 1ª vagem (INSER), Ramos por planta (RP), Vagens por planta (VP), Grãos por planta (GP), Massa de 100 grãos (M100), Produtividade

(PROD), Teor de boro (TeorB). ***, * e ns correspondem respectivamente a significativo a menos de 1%, 5% e não significativo.

Na Tabela 3 estão expressos os valores obtidos para teor foliar de boro em função da época de aplicação de *Trichoderma* e doses de B, sendo observada diferença significativa em função das doses aplicadas.

Tabela 3. Valores de F e coeficiente de variação CV (%) e valores médios de teor foliar de boro nas plantas de soja em função da época de aplicação de *Trichoderma atroviride* e doses de boro. Alta Floresta-MT, (2021).

Teor de boro (mg kg ⁻¹)	
Épocas (E)	
SEM	81,44
V5	80,70
R1	81,31
R5	79,34
Valor de F	0,30 ^{ns}
Doses B (D)	
0	64,67
500	71,04
1000	79,11
1500	92,46
2000	96,20
Valor de F	48,05*
E * D	
Valor de F	1,22 ^{ns}
CV(%)	9,67

* e ns correspondem respectivamente a significativo a 5% e não significativo pelo teste F.

Em resposta à fertilização com B, a concentração deste micronutriente na folha variou entre 64,67 e 96,20 mg kg⁻¹. Assim, conforme se aumentou a dose aplicada ocorria a elevação linear dos níveis de B nas folhas de soja aumentando 0,0169 mg no teor foliar por g de B aplicada (Tabela 3, Figura 5). Trautmann et al. (2014) descrevem que a aplicação foliar de B na soja também aumentou a concentração do nutriente nas folhas, com teores entre 68,15 e 143,33 mg kg⁻¹. Relatos de Nakao et al. (2018) também corroboram com resultados deste trabalho, no qual, os teores foliares do micronutriente mantiveram acima do recomendado de 21 a 55 mg kg⁻¹, se considerando a testemunha. Tal fato se deve ao teor de matéria orgânica do solo, cujo é a principal fonte de B e, apesar de baixo teor no solo, esta pode ser fornecido quantidade adequada do nutriente para as plantas de soja (EMBRAPA, 2006).

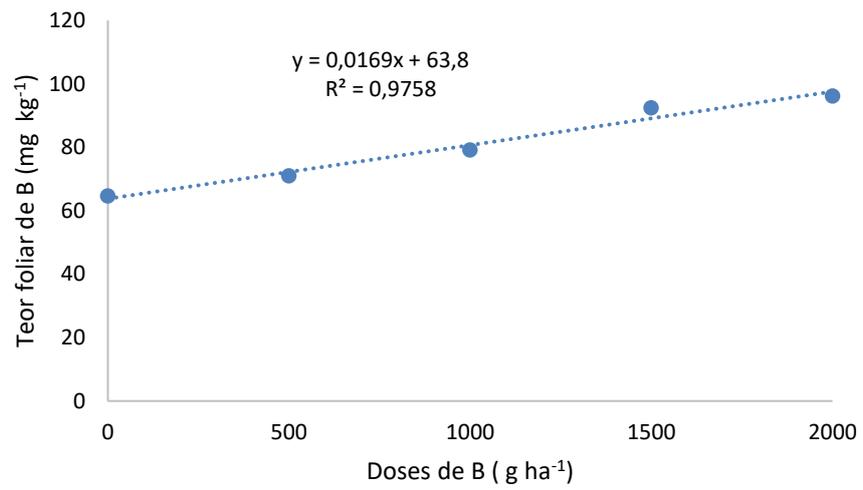


Figura 5. Teor de Boro (B) nas folhas de soja em função da aplicação de doses de boro. Alta Floresta-MT, (2021).

Conclusões

O fornecimento de boro, independentemente da época de aplicação de *Trichoderma atroviride*, não demonstraram aumento significativo na ação promotora de crescimento aos componentes de rendimento e produtividade da soja. Nas folhas o teor de boro tende a aumentar à medida em que se aumenta as doses do elemento aplicado na leguminosa.

Na soja os componentes de rendimento se correlacionam positivamente, destacando relação entre altura de planta e altura de inserção da vagem, vagem por planta e ramos por planta, entre grãos por planta com ramos e vagem por planta. Entretanto, houve correlação negativa entre a massa de 100 grãos e altura de planta, já produtividade e teor de boro não tem correlação na soja.

Referências Bibliográficas

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. (2014). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift.*, 6(5), p. 711-728.

ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, 5 A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. 2. Ed. Viçosa: CFSEMG/UFV, 1999. P. 30-35.

BELLALOU, N. Effect of water stress and foliar boron application on seed protein, oil, fatty acids, and nitrogen metabolism in soybean. *Am Journal Plant Sci*, p.692-701, 2011.

BORKERT, C. M.; SFREDO, G. J.; MISSIO, S.L da S. Soja: adubacao foliar. **Embrapa Soja-Documents (INFOTECA-E)**, 1987.,

BOARETTO, A. E.; TIRITAN, C. S.; MURAOKA, T. Effects of foliar applications of boron on citrus fruit and on foliage and soil boron concentration. In: **Boron in soils and plants**. Springer, Dordrecht, 1997. p. 121-123.

CALONEGO, J. C.; OCANI, K.; OCANI, M.; SANTOS, C. H. D. Adubação boratada foliar na cultura da soja. *Colloquium Agrariae*. v.6, n.2, p.20-26, 2010.

CAMPO, P. Manual de segurança e qualidade para a cultura da soja. **Brasília, DF: Embrapa Transferência de Tecnologia**, 2005.

CARVALHO, N. M; NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 5 ed. Jaboticabal: **FUNEP**. p. 590, 2012.

CARVALHO, F. I. F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal. Pelotas: **Editora UFPel**, p. 142, 2004.

ÇELIK, H.; TURAN, M. A.; ASIK, B. B. OZTUFEKÇI, S. KATKAT, A. V. Effects of soil-applied materials on the dry weight and boron uptake of maize shoots (*Zea Mays L.*) under high boron conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 50, n. 7, p. 811-826, 2019.

CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Brasília, v. 8, n. 11, p. 109, 2021.

CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira: grãos. Brasília, v. 8, n.12, p. 98, 2021.

CRUZ, S. C. S.; SENA JUNIOR, D. G.; SANTOS, D. M. A.; LUNEZZO, L. O.; MACHADO, C. G. Cultivo de soja sob diferentes densidades de semeadura e arranjos espaciais. *Revista de Agricultura Neotropical*, v.3, n.1, p.1–6, 2016.

DA SILVA, R. C. D.; JUNIOR, G. S da S.; SILVA, C. dos S.; DOS SANTOS, C. T.; PELÁ, A. Nutrição com boro na soja em função da disponibilidade de água no solo. **Scientia agraria**, v. 18, n. 4, p. 155-165, 2017.

DA SILVA GOMES, I.; BENETT, C. G. S. Boron fertilisation at different phenological stages of soybean. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 8, p. 1026-1032, 2017.

DE OLIVEIRA, L. B. Manual de métodos de análise de solo. **Embrapa Solos-Livro técnico (INFOTECA-E)**, 1979.

DEVI, K. N.; SINGH, L. N. K. SINGH, M. S.; SINGH, S. B.; SINGH, K. K. Influence of sulphur and boron fertilization on yield, quality, nutrient uptake and economics of soybean (*Glycine max*) under upland conditions. **Journal of Agricultural Science**, v. 4, n. 4, p. 1, 2012.

DOMINGOS C. S; NETO, M. E.; BESEN, M. R.; COSTA, E. J. O.; BATISTA, M. A.; SCAPIM, C. A.; INOUE, T. T.; BRACCINI, A. L. 2019. Foliar applications of phosphorus, calcium, boron and potassium and their impacts on the seed yield and physiological and nutritional qualities of soybean. **Emirates Journal of Food Agriculture**. 31 (8): p. 626–634.

DOMINGOS, C da S.; BESEN, M. R.; NETO, M. E.; COSTA, E. J. O.; SCAPIM, C. A.; INOUE, T. T.; BATISTA, M. A.; BRACCINI, A. L. Can calcium and boron leaf application increase soybean yield and seed quality?. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science**, v. 71, n. 3, p. 171-181, 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPÉCUARIA – EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja** – Região Central do Brasil, 2007. (Sistemas de produção 11). Londrina: Embrapa-soja, p. 239, 2006.

EMBRAPA. Soja em números (2020/21). **Londrina: Embrapa Soja**, 2021. Disponível em:< <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso: 14 de set. de 2021.

EMBRAPA - Solos, 2018. Sistema Brasileiro de classificação de solos. 5ª ed., Brasília: EMBRAPA Solos, p. 356.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. Ecofisiologia da soja. **Embrapa Soja-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2007.

FREITAS, M de C. M de. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera—Centro Científico Conhecer**, Goiânia-GO, 2011, 7.12: 1-12.

GOOGLE EARTH PRO. Website, 2020. Disponível em:< <https://google-earth-pro.gosur.com/>>. Acesso: 07 de dez. de 2021.

HEIFFIG, L. S.; CÂMARA, G. M. S.; MARQUES, L. A.; PEDROSO, D. B.; PIEDADE, S. M. S. Plasticidade da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em

diferentes arranjos espaciais. **Revista de Agricultura**, Campina Grande, v. 84, n. 3, p. 204-219, 2010.

HERMOSA, R.; VITERBO, A.; CHET, I.; MONTE, E. Plant-beneficial effects of Trichoderma and of its genes. **Microbiology**, London, v. 158, p. 17-25, 2012.

HERMOSA, R.; RUBIO, M. B.; CARDOZA, R. E.; NICOLÁS, C.; MONTE, E.; GUTIÉRREZ, S. The contribution of Trichoderma to balancing the costs of plant growth and defense. **International Microbiology**, v. 16, p. 69-80, 2013.

HOWELL, C. R. Mechanisms employed by Trichoderma species in the biological control of plant diseases: the history and evolution of current concepts. **Plant disease**, 2003, 87.1: 4-10.

JUNIOR, A. A. B.; PROCÓPIO, S de O.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. Densidade de plantas na cultura da soja. **Embrapa**. Londrina, PR, ISSN 2176-2937, 2015.

KAPPES, C.; GOLO, A. L.; DE CARVALHO, M. A. C. Doses e épocas de aplicação foliar de boro nas características agronômicas e na qualidade de sementes de soja. **Scientia agraria**, v. 9, n. 3, p. 291-297, 2008.

LANDI, M.; DEGL'INNOCENTI, E.; PARDOSSI, A.; GUIDI, L. Antioxidant and photosynthetic responses in plants under boron toxicity: a review. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v. 7, n. 3, p. 255-270, 2012.

LEITE, R. F. C.; SCHUCH, L. O. B.; AMARAL, A dos S.; TAVARES, L. C. Rendimento e qualidade de sementes de arroz irrigado em função da adubação com boro. **Revista Brasileira de Sementes**, p. 785-791, v. 33, n. 4, 2011.

LUCON, C. M. M. Promoção de crescimento de plantas com o uso de Trichoderma spp. São Paulo: **Instituto Biológico/Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Sanidade Vegetal**, 2009.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFÓS, 1997, p. 319.

MASCARENHAS, H. A. A.; ESTEVES, J. A de F.; WUTKE, E. B.; GALLO, P; B. Micronutrientes em soja no estado de São Paulo. **Nucleus** , v. 11, n. 1, pág. 323-342, 2014.

MATTIELLO, E. M.; RUIZ, H. A.; DA SILVA, I. R.; SARKIS, J. E de S. Uso da técnica HRICP-MS na avaliação dos isótopos de boro em eucalipto. **Química Nova** , v. 34, n. 3, p. 512-515, 2011.

MENDOZA-MENDOZA, A.; ZAID, R.; LAWRY, R.; HERMOSA, R.; MONTE, E.; HORWITZ, B. A.; MUKHERJEE, P. K. Molecular dialogues between Trichoderma and roots: role of the fungal secretome. **Fungal Biology Reviews**, v. 32, n. 2, p. 62-85, 2018.

MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; DA SILVA, J. C. Trichoderma: uso na agricultura. In: BETTIOL, W.; PINTO, Z. V.; DA SILVA, J. C.; FORNER, C.; DE FARIA, M. R.; PACIFICO, M. G.; COSTA, L. S. A. S. Produtos comerciais à base de Trichoderma. **Embrapa Soja-Livro científico (Alice)**, p. 45-160. 2019.

MOREIRA, M. A.; JÚNIOR, F de J. R.; ALVES, G. S.; CARVALHO, D. D. C.; RODRIGUES, F. **Doses de boro em paricá combinada com a utilização de isolados de Trichoderma spp.** In: XVI Semana de Ciências Agrárias e VII Jornada de Pós-Graduação em Produção Vegetal. v. 16, 2019. *Anais...* Universidade Estadual de Goiás, p. 203-206.

NAKAO, A. H; COSTA, N. R; ANDREOTTI, M.; SOUZA, M. F. P; DICKMANN, L.; CENTENO, D. C, & CATALANI, G. C (2018). Características agronômicas e qualidade fisiológica de sementes de soja em função da adubação foliar com boro e zinco. *Cultura Agrônômica: Revista de Ciências Agrônômicas* , 27 (3), 312-327. <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2018v27n3p312-327>

NIETO-JACOBO, M. F.; STEYAERT, J. M.; SALAZAR-BADILLO, F. B.; NGUYEN, D.V.; ROSTÁS, M.; BRAITHWAITE, M.; DE SOUZA, J. T.; JIMENEZ-BREMONT, J. F.; OHKURA, M.; STEWART, A. Environmental growth conditions of Trichoderma spp. affects indole acetic acid derivatives, volatile organic compounds, and plant growth promotion. **Front Plant Science**. 8:102. doi: 10.3389/fpls.2017.00102

OLIVEIRA, L. P de.; DA FONSECA, P. R. B. **Desempenho Agronômico de cultivares de soja (*Glycine max* L.) para o município de Humaitá-AM.** Universidade Federal do Amazonas – UFAM (Trabalho de conclusão do curso Agronomia). Humaitá – AM, 2017.

PINTO, Z. V.; BETTIOL, W.; LUCON, C. M. M.; MORANDI, M. A. B. Metodologia para avaliação da qualidade de produtos biológicos à base de Trichoderma spp. In: **Embrapa Meio Ambiente-Resumo em anais de congresso (ALICE)**. Tropical Plant Pathology, Brasília, DF, v. 36, p. 488, ago. 2011. Suplemento. Edição dos resumos do XLIV Congresso Brasileiro de Fitopatologia, Bento Gonçalves, ago. 2010. Resumo 745, 2011.

POPINIGIS, F. 1985. Fisiologia da semente. 2nd ed. Brasília, Brazil: Agiplan.

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

REZENDE, C. C.; FRASCA, L. L de M.; SILVA, M. A.; PIRES, R. A. C.; LANNA, A. C.; FILIPPI, M. C. C de.; NASCENTE, A. S. Physiological and agronomic characteristics of the common bean as affected by multifunctional microorganisms. **Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2021.

ROSSONI, E.; WENZEL, C. F.; WOTROVSKI, C.; STREFLING, M. A.; MARCHIORI, R. V. K.; RICHART, A. **Aplicação de boro em pré semeadura na**

cultura da soja. II CICA – Congresso Internacional de Ciências Agrárias. Pontifícia Universidade Católica do Paraná, PUCPR - Campus Toledo. 2017.

ROSOLEM, C. A.; ZANCANARO, L.; BÍSCARO, T. Boro disponível e resposta da soja em latossolo vermelho-amarelo do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2375-2383, 2008.

SIDDIQUI, M. H.; AL-WHAIBI, M. H.; SAHRAM, A. M.; ALI, H. M.; BASALAH, M. O.; FAIÇAL, M.; ALATAR, A.; AL-AMRI, A. A. Calcium-induced amelioration of boron toxicity in radish. **Journal of plant growth regulation**, v. 32, n. 1, p. 61-71, 2013.

SILVA, G. F da. **DOSES E ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE BORO VIA FOLIAR EM SOJA.** Faculdade Evangélica de Goianésia (Trabalho de conclusão de curso), Goianésia/GO, 2018.

SILVA, F. C DA S et al. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. ISBN: 978-85-7383-430-7

SOUZA, R.; TEIXEIRA, I. R.; REIS, E.; SILVA, A. Soybean morphophysiology and yield response to seeding systems and plant populations. **Chilean Journal of Agricultural research**, v.76, n. 1, p.101-110, 2016.

STEFFEN, G. P. K.; MALDANER, J. **Metodologia para multiplicação de *Trichoderma sp.* em substratos orgânicos.** Porto Alegre: SEAPDR/DDPA, 2019, p.22. (Boletim Técnico: pesquisa e desenvolvimento, n. 1)

SMIDERLE, O. J.; SOUZA, A de G.; GIANLUPPI, V.; GIANLUPPI, D.; COSTA, K. N. A.; GOMES, H. H da S.; Correlação entre componentes de produção de soja BRS Tracajá e diferentes densidades de plantas no cerrado Roraima. **Embrapa Roraima-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2019.

TUCCI, M.; RUOCCO, M.; DE MASI, L.; DE PALMA, M.; LORITO, M. The beneficial effect of *Trichoderma spp.* on tomato is modulated by the plant genotype. **Molecular plant pathology**, v. 12, n. 4, p. 341-354, 2011.

TRAUTMANN, R. R.; LANA, M do C.; GUIMARRÃES, V. F.; JUNIOR, A. C. G.; STEINER, F. Potencial de água do solo e adubação com boro no crescimento e absorção do nutriente pela cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 240-251, 2014.

ULIANA, A. S.; CARVALHO, I. R.; DA ROSA, T. C.; BARBOSA, M. H.; DA MAIA, L. C.; DE SOUZA, V. Q. Desempenho de genótipos da soja no noroeste do estado do Rio Grande do Sul. **XXVI Congresso de Iniciação Científica – 3ª Semana Integrada**, 2017.

VARANDA, M. A. F. **Influência do boro via aplicação foliar em soja na várzea irrigada no Tocantins.** Universidade Federal do Tocantins - Campus de Gurupi, Dissertação de Mestrado, 2017.

WAGHUNDE, R. R.; SHELAKE, R. M.; SABALPARA, A. N. *Trichoderma*: A significant fungus for agriculture and environment. **African Journal of Agricultural Research**, Nigéria, v. 11, n. 22, p. 1952-1965, 2016.

WILL, S.; EICHERT, T.; FERNÁNDEZ, V.; MÖHRING, J.; MÜLHER.; RÖMHELD, V. Absorption and mobility of foliar-applied boron in soybean as affected by plant boron status and application as a polyol complex. **Plant and soil**, v. 344, n. 1, p. 283-293, 2011.

WOO, S. L.; RUOCCO, M.; VINALE, F.; NIGRO, M.; MARRA, M.; LOMBARDI, N.; PASCALE, A.; LANZUISE, S.; MANGANIELLO, G.; LORITO, M. *Trichoderma*-based products and their widespread use in agriculture. **The Open Mycology Journal**, v. 8, p. 71-126, 2014.

ZHOU, T.; HUA, Y.; ZHANG, B.; ZHANG, X.; ZHOU, Y.; SHI, L.; XU, F. (2017) Low-boron tolerance strategies involving pectin-mediated cell wall mechanical properties in brassica napus. **Plant and Cell Physiology** 58:1991-2005.

4. CONCLUSÕES GERAIS

A implantação de técnicas de manejo utilizando microrganismos endofíticos e micronutrientes como o deste estudo proporcionam resultados benéficos para a soja. Com isso, destaque-se que a inoculação de *Trichoderma atroviride* associado a fertilização de boro favoreceu melhorias no metabolismo bioquímico e fisiológico das plantas de soja, atuando como protetor de planta minimizando os danos deletérios acometidos pelas espécies reativas de oxigênio. Além disso, o *Trichoderma* e o boro mediam positivamente a síntese e translocação de elementos como açúcares, proteínas, compostos nitrogenados, pigmentos clorofilianos e feofitinas. No entanto, não se evidenciou a ação promotora destes quanto ao crescimento nos componentes de rendimento e aumento da produção.