

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

MATHEUS SOUZA RAITER

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE BORO, SILÍCIO E ÁCIDO SALICÍLICO NOS  
PIGMENTOS FOLIARES DO ALGODOEIRO**

CHAPADÃO DO SUL-MS

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE BORO, SILÍCIO E ÁCIDO SALICÍLICO NOS  
PIGMENTOS FOLIARES DO ALGODOEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal de Mato  
Grosso do Sul, como parte dos requisitos  
para obtenção do título de Engenheiro  
Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Cid Naudi Silva  
Campos

Coorientador: Prof. Dr. Jonas Pereira de  
Souza Junior

Coorientadora: Me. Marcia Leticia Monteiro  
Gomes

CHAPADÃO DO SUL-MS

2023



Serviço Público Federal  
Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

AUTOR: **MATHEUS SOUZA RAITER.**

ORIENTADOR: **Prof. Dr. Cid Naudi Silva Campos.**

Aprovado pela Banca Examinadora como parte das exigências do Componente Curricular Não Disciplinar TCC, para obtenção do grau de BACHAREL EM AGRONOMIA, pelo curso de Bacharelado em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Câmpus de Chapadão do Sul.

**Prof. Dr. Cid Naudi Silva Campos**  
Presidente da Banca Examinadora e Orientador

**Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque**  
Membro da Banca Examinadora

**Prof. Dr. Rafael Ferreira Barreto**  
Membro da Banca Examinadora

Chapadão do Sul, 06 de junho de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Ferreira Barreto, Professor do Magisterio Superior**, em 06/06/2023, às 11:03, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cid Naudi Silva Campos, Professor do Magisterio Superior**, em 06/06/2023, às 11:04, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cassiano Garcia Roque, Professor do Magisterio Superior**, em 06/06/2023, às 11:07, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufms.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4117768** e o código CRC **68D3E816**.

COORDENAÇÃO DE GESTÃO ACADÊMICA DO CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL  
Câmpus de Chapadão do Sul - Rod MS 306, Km 105, Caixa Postal 112  
Fone:  
CEP 79560-000 - Chapadão do Sul - MS

Referência: Processo nº 23455.000361/2023-16

SEI nº 4117768

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a todos que me inspiraram, apoiaram e acreditaram em mim ao longo desta jornada.*

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão, acima de tudo, a Deus por sempre atender minhas orações, me dando resiliência para perseverar e me ajudando a conquistar este objetivo tão importante em minha vida.

Tenho gratidão a minha família por sempre me apoiar nos bons e maus momentos, e por fazer de tudo para tornar este momento uma realidade. Os conselhos de minha mãe foram inestimáveis para enfrentar as reviravoltas desses cinco anos de faculdade e agradeço por alguns puxões de orelha para eu ter determinação nos momentos de desânimo, enquanto meu pai sempre me apoiando nas minhas decisões e tive grande ajuda financeira, mesmo quando a distância nos separava.

Devo meus agradecimentos aos meus amigos que estiveram comigo tanto na vida acadêmica quanto na vida pessoal. Sem o apoio inabalável deles, talvez eu não tivesse chegado aonde estou hoje. Cada amigo desempenhou um papel fundamental na formação da minha vida, seja por meio de orientação, assistência, incentivo ao longo de minha jornada acadêmica ou pelos churrascos, festas, perrengues que enfrentamos juntos. Sou imensamente grato a todos eles.

Sou profundamente grato pelo conhecimento e aprendizado que a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul me propiciou. Suas contribuições foram fundamentais para o meu crescimento pessoal e profissional. Estendo minha gratidão ao meu orientador Prof. Dr. Cid Naudi Silva Campos pelo apoio, orientação e assistência inabaláveis fornecidos até a conclusão deste projeto. E estendo também minha sincera gratidão a todos os professores e coorientadores que tive o privilégio de conhecer, compartilhar experiências e aprender.

À todos que contribuíram, de alguma forma, para a realização deste trabalho e da minha trajetória que me incentivaram e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica como ao grupo GECENP, Sementes Ponto Alto e Agbitech pelos aprendizados, onde fiz estágio.

## EPÍGRAFE

*“Que todos os nossos esforços estejam sempre focados no desafio à impossibilidade. Todas as grandes conquistas humanas vieram daquilo que parecia impossível”*

*(Charles Chaplin).*

## SUMÁRIO

	Página
1. Introdução .....	11
2. Material e Métodos .....	13
2.1 Localização e clima da área experimental .....	13
2.2 Solo da área experimental e características químicas .....	13
2.3 Tratamento e delineamento experimental .....	13
2.4 Manejo nutricional e fitossanitário .....	15
2.5 Análise de pigmentos fotossintetizantes .....	15
2.6 Análise estatísticas .....	16
3. Resultados e discussão .....	16
4. Conclusão .....	19
5. Referência bibliográfica .....	20

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Teor de clorofilas totais nos tratamentos controle, boro (B), silício (Si), ácido salicílico (AS), AS + B, AS + Si, AS + B + Si em diferentes períodos de aplicações na cultura do algodoeiro, em Chapadão do Sul – MS.....17

Figura 2. Teor de carotenoides nos tratamentos controle, boro (B), silício (Si), ácido salicílico (AS), AS + B, AS + Si, AS + B + Si em diferentes períodos de aplicações na cultura do algodoeiro, em Chapadão do Sul – MS .....18



## EFEITO DA APLICAÇÃO DE BORO, SILÍCIO E ÁCIDO SALICÍLICO NOS PIGMENTOS FOLIARES DO ALGODÃO

### RESUMO

A aplicação foliar do micronutriente boro (B), do elemento benéfico silício (Si) e do hormônio vegetal ácido salicílico (AS) tem apresentado resultados promissores em pesquisas científicas no desenvolvimento do algodoeiro cultivado sob deficiência de B. Assim, os objetivos deste estudo foram avaliar os efeitos de aplicações isoladas e combinadas de B, Si e AS nos teores foliares de clorofilas e carotenoides em plantas de algodoeiro e determinar a quantidade ideal de aplicações desses elementos e hormônio que levaria a um aumento significativo nas concentrações desses pigmentos. Ademais, foi realizado experimento de campo, utilizando a cultivar de algodão FM 906 GLT durante a safra 2022/2023, em delineamento em blocos casualizados com sete tratamentos. Os tratamentos foram: Controle (água), B, Si, AS, AS+B, AS+Si e AS+B+Si, aplicados via foliar em quatro repetições. Foram realizadas quatro aplicações foliares, começando no estágio reprodutivo B1, em intervalos de 7 a 11 dias. Antes de cada aplicação foi realizada coleta da folha diagnose (quinta folha completamente expandida) e realizou-se a análise do teor de clorofila e de carotenoides. As plantas tratadas com B, Si, AS, AS+B, AS+Si ou B+Si+AS apresentaram maiores teores de clorofilas e carotenoides em comparação ao controle, com diferença significativa entre os tratamentos. A partir da segunda aplicação, teve um efeito positivo nos pigmentos clorofilas e carotenoides, principalmente nos tratamentos com Si e AS. No entanto, a partir da terceira aplicação, o tratamento B+Si+AS teve um efeito mais proeminente. Essa tendência pode ser atribuída ao efeito somatório do B, Si e do AS, que foram iniciados a partir da segunda aplicação, intensificados na terceira e quarta, com destaque para a aplicação conjunta dos três elementos.

**Palavras-chave:** *Gossypium hirsutum* L. Clorofila, Elemento Benéfico, Hormônio Vegetal, Micronutriente.

## EFFECT OF BORON, SILICON AND SALICYLIC ACID APPLICATION ON COTTON FOLIAR PIGMENTS

### ABSTRACT

The foliar application of the micronutrient boron (B), the beneficial element silicon (Si), and the plant hormone salicylic acid (SA) has shown promising results in scientific research on the development of cotton plants grown under B deficiency. Thus, the objective of this study was to investigate the impact of the individual and combined application of B, Si, and SA on foliar pigment content in cotton plants. Additionally, the study aimed to determine the ideal number of applications of these nutrients and substances that would lead to a significant increase in the concentrations of these pigments, to better understand the interaction between these elements and their effect on the biosynthesis and accumulation of chlorophyll and carotenoids in cotton leaves. Furthermore, a field experiment was conducted using the cotton cultivar FM 906 GLT during the 2022/2023 growing season, in a randomized complete block design with seven treatments. The treatments consisted of Control (water), B, Si, SA, SA+B, SA+Si, and SA+B+Si, applied foliarly with four replications. Four foliar applications were carried out, starting at the reproductive stage B1, at intervals of 7 to 11 days. Before each application, leaf samples were collected (fifth fully expanded leaf) and the chlorophyll and carotenoid content were analyzed. Plants treated with B, Si, SA, SA+B, SA+Si, or B+Si+SA showed higher chlorophyll and carotenoid contents compared to the control, with significant differences among the treatments. It can be concluded that from the second application onwards, there was a positive effect on chlorophyll and carotenoid pigments, mainly from Si and SA. However, from the third application, the B+Si+SA treatment had a more prominent effect. This trend can be attributed to the cumulative effect of B, Si, and SA, which started from the second application, intensified in the third and fourth applications, with particular emphasis on the combined application of the three elements.

**Keywords:** *Gossypium hirsutum* L., Chlorophyll, Beneficial Elements, Micronutrients, Plant Hormone.

## 1. INTRODUÇÃO

O algodão (*Gossypium hirsutum*) é um componente crítico da economia global, classificado como uma das culturas mais valiosas da produção agrícola (ABRAPA, 2018). Entre os elementos e compostos pesquisados, o boro (B), o silício (Si) e o ácido salicílico (AS) chamam a atenção da comunidade científica por seus efeitos fisiológicos no algodão. Assim, os estudos com esses elementos são cruciais para determinar seu impacto nas várias fases do ciclo de vida da planta, desde o estabelecimento inicial até a produção de fibra de alta qualidade (AHMAD et al. 2020). Numerosos estudos esclareceram seus efeitos, revelando a influência significativa que eles têm no crescimento e desenvolvimento da planta (HOSSAIN et al. 2017).

Estudos científicos têm demonstrado os efeitos positivos da aplicação de B na concentração dos pigmentos foliares na cultura do algodão. A suplementação de B resultou em aumento na concentração total de clorofila e carotenoides nas folhas dessa cultura (SOUZA JUNIOR et al. 2020). Esses pigmentos são fundamentais para a fotossíntese, processo fisiológico essencial ao crescimento e à produtividade da planta. A presença adequada de B no tecido foliar aumenta a produção de pigmentos e otimiza a absorção de luz, promovendo o bom desempenho fotossintético do algodoeiro (SOUZA JUNIOR et al., 2020).

Neste sentido, outros estudos evidenciaram que a aplicação de Si promove aumento dos pigmentos associados à fotossíntese, melhorando a eficiência fotossintética e a capacidade de captura de luz (LI et al., 2017). Além disso, o Si, auxilia na absorção e translocação de nutrientes, como nitrogênio, contribuindo para o equilíbrio nutricional das plantas (YAN et al., 2018) isso poderá contribuir para aumento dos teores de clorofilas, pois o N faz parte desse pigmento.

O AS é uma substância dinâmica conhecida por sua capacidade de induzir respostas defensivas e adaptativas das plantas às pressões ambientais e biológicas (RIVAS-SAN VICENTE et al. 2013). Estudos mostram que a aplicação de AS tem efeitos fisiológicos vantajosos em plantas de algodão. A aplicação de AS pode aumentar a taxa de crescimento, a taxa fotossintética e a eficiência do uso da água em plantas de algodão quando cultivadas sob estresse hídrico (SMITH et al. 2018). Além disso, evidenciaram que a aplicação de AS em plantas de algodoeiro estimulou o desenvolvimento de fibras mais finas e longas (RAZA et al. 2018).

Os efeitos fisiológicos da aplicação de B, Si e AS individualizados e em combinação no algodoeiro foram investigados, com foco particular em seu impacto nos pigmentos de

clorofila e carotenoides. Esses pigmentos são cruciais para o processo de fotossíntese e desenvolvimento geral da planta, afetando fatores como produção de energia e capacidade de resposta às condições ambientais (SMITH et al. 2019). O estudo do AS tem sido extenso devido à sua função de proteger as plantas de estresses bióticos e abióticos. Embora ainda seja incipiente na literatura os efeitos do AS no algodoeiro e sua correlação com os pigmentos foliares, pesquisas em outras culturas revelaram que ele tem o potencial de promover aumento na síntese de clorofilas e na atividade fotossintética (SANTOS et al. 2020).

Diante disso, surgem as hipóteses de que a aplicação foliar de B, Si e AS no algodão pode ter um impacto benéfico na concentração de pigmentos foliares, incluindo clorofila e carotenoides, sobretudo quando os elementos estiverem combinados na mesma calda de pulverização com o AS. Assim, os objetivos deste estudo foram avaliar os efeitos de aplicações isoladas e combinadas de B, Si e AS nos teores foliares de clorofilas e carotenoides em plantas de algodoeiro e determinar a quantidade ideal de aplicações desses elementos e hormônio que levaria a um aumento significativo nas concentrações desses pigmentos.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Localização e clima da área experimental**

O experimento foi conduzido na Fundação Chapadão, localizada na região de Chapadão do Sul, estado do Mato Grosso do Sul. A pesquisa foi realizada durante a safra 2022/2023, utilizando a cultivar de algodão de ciclo precoce FM 906 GLT. A semeadura foi realizada no dia 13 de dezembro de 2022, nas coordenadas 18°41'33" S de latitude e longitude de 52°40'45" W. O clima da região é classificado como tropical e úmido.

### **2.2 Solo da área experimental e características químicas**

O solo da área experimental é caracterizado como Latossolo Vermelho com propriedades distróficas (SANTOS et al., 2018). Amostras foram coletadas a uma profundidade de 0-20 cm antes do início do experimento, e a fertilidade foi avaliada por meio de análise química conforme a técnica descrita por Raij et al., (2001). Os resultados da análise química do solo foram: pH (CaCl<sub>2</sub>): 5,3; P (resina): 52,0 mg dm<sup>-3</sup>; matéria orgânica: 23 g dm<sup>-3</sup>; K: 113 mg dm<sup>-3</sup>; Ca: 2,7 cmolc dm<sup>-3</sup>; Mg: 0,97 cmolc dm<sup>-3</sup>; S: 7,8 mg dm<sup>-3</sup>; H+Al: 4,48 cmolc dm<sup>-3</sup>; Al: 0,01 cmolc dm<sup>-3</sup>; Cu: 1,50 mg dm<sup>-3</sup>; Fe: 32,2 mg dm<sup>-3</sup>; Mn: 22,2 mg dm<sup>-3</sup>; Zn: 9,75 mg dm<sup>-3</sup>; B: 0,03 mg dm<sup>-3</sup>. Vale ressaltar que o teor de B do solo é baixo para a cultura do algodão (ZHAO et al., 2003; AHMED et al., 2013; ATIQUE-UR-REHMA et al., 2020).

Inicialmente, foi realizada a etapa de aração, por meio de arados, a fim de descompactá-lo e facilitar o desenvolvimento das raízes das plantas. Em seguida, foi realizada a gradagem, etapa em que o solo é nivelado e assegurada a uniformidade da sua superfície. A gradagem tem como objetivo principal eliminar torrões de terra e promover uma textura mais adequada para o estabelecimento das plantas. Além disso, foi realizada a calagem, que é a aplicação de corretivos de acidez, como o calcário, visando aumentar o pH do solo.

### **2.3 Tratamento e delineamento experimental**

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados (DBC), composto por 7 tratamentos: água (controle); B foliar; Si foliar; hormônio ácido salicílico; ácido salicílico + B foliar; ácido salicílico + Si foliar; ácido salicílico + B foliar + Si foliar e 4 repetições que totalizaram 32 parcelas. As parcelas foram compostas por 4 linhas de 5 metros de comprimento espaçadas em 0,90 m, sendo a área útil composta pelas 3 linhas centrais de 3 metros de comprimento, totalizando 8,1 m<sup>2</sup>.

O tratamento controle (T1) consistiu na aplicação de água. No tratamento com B (T2), foi preparada uma solução boratada contendo  $1,5 \text{ g/L}^{-1}$  de B na forma de ácido bórico. Para dissolver completamente, o pH da solução foi elevado entre 7,5 e 8,5. Além disso, para equilibrar o teor de potássio (K) neste tratamento, adicionou-se  $0,95 \text{ g/L}^{-1}$  de cloreto de potássio. Já no tratamento com Si (T3), foi preparada uma solução silicatada contendo  $1,15 \text{ g/L}^{-1}$  de Si na forma de silicato de potássio estabilizado com sorbitol. A solução também continha  $113,85 \text{ g/L}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ .

No tratamento com AS (T4), utilizou-se uma concentração de  $210 \text{ mg/L}^{-1}$  de AS. Para dissolver o AS, o pH da solução foi elevado acima de 11 utilizando NaOH (1 M). No tratamento com AS + B (T5), após a dissolução do AS, o pH da calda foi reduzido para 9. Em seguida, foram adicionados 36 mL da solução com B (T2) mais 0,95 g de K por litro de calda.

Para o tratamento com AS + Si (T6), após a dissolução do AS, adicionou-se 10 mL da solução silicatada por litro de calda. O tratamento com AS + B + Si (T7), foi preparado com uma solução contendo  $250 \text{ mg/L}$  de AS,  $1,5 \text{ g/L}^{-1}$  de B na forma de ácido bórico e  $1,15 \text{ g/L}^{-1}$  de Si na forma de silicato de potássio estabilizado com sorbitol. O pH da solução de AS foi ajustado para 9 após a dissolução. Para a calda, utilizou-se 36 mL da solução com B (T2) mais 10 mL da solução silicatada (T3) por litro de calda. E a ordem de adição das soluções foi importante para evitar a formação de precipitados em todos os tratamentos.

As concentrações de B, Si e AS foram definidas usando o teste de turbidez para avaliar a polimerização na calda de pulverização e registrar as mudanças de cor nas misturas. O pH da solução foi medido antes da pulverização foliar, que resultou nos seguintes valores: 7,1; 8,5; 10,9 e 11 para água, B, Si e AS.

Foram realizadas quatro aplicações foliares, iniciando no estágio reprodutivo B1 (um botão floral no primeiro ramo reprodutivo), em intervalos de 7 a 11 dias, dependendo das condições climáticas (chuvas). Foi utilizado pulverizador costal pressurizado Herbicat  $\text{CO}_2$ , equipado com barra de pulverização e 4 pontas espaçadas de 50 cm entre si, reguladas para vazão de  $200 \text{ L ha}^{-1}$ . As condições climáticas foram verificadas no momento da aplicação, com temperatura  $< 26 \text{ C}^\circ$ , umidade relativa do ar  $> 60\%$  e velocidade do vento  $< 8 \text{ km h}^{-1}$ , favorecendo a pulverização foliar.

## **2.4 Manejo nutricional e fitossanitário**

A recomendação fitossanitária e a prática de cobertura do solo são importantes para o manejo adequado de pragas e doenças nas culturas agrícolas. A combinação dessas práticas pode contribuir para a redução do uso de pesticidas, a proteção das plantas e a melhoria da saúde do solo.

Após a emergência das plantas de algodão, foram realizadas diferentes aplicações visando o manejo adequado da cultura. Inicialmente, foi realizada a aplicação de potássio (K) e uma aplicação ureia na dose de 175 kg/ha, visando fornecer nutrientes para o desenvolvimento das plantas.

Em seguida, foi aplicado o produto Transorb (2,5L) + Belt (80ml) + Mostiplan (0,2L), no estágio fenológico V4, foi realizada uma nova aplicação, dessa vez utilizando o produto Liberty + óleo mineral + Transorb. Essa aplicação foi estratégica para o controle de plantas daninhas, garantindo um ambiente propício para o crescimento do algodoeiro. Posteriormente, foi realizada mais uma aplicação de ureia, utilizando a dose de 90 kg/ha, para suprir as necessidades nutricionais da cultura.

Foram realizadas aplicações de Malation + Engeo, seguidas de uma aplicação de Malation isolado, com um intervalo de 6 dias entre elas. Essas aplicações visaram controlar pragas que poderiam afetar negativamente o desenvolvimento das plantas. Além disso, foi aplicado o regulador de crescimento com 50ml/ha, seguido de uma nova aplicação de ureia, na dose de 90 kg/ha, após 2 dias.

Foram adotadas diversas medidas de proteção contra doenças e pragas no cultivo de algodão, foram feitas seis aplicações de fungicidas, incluindo Orkestra, Ochima, Previnil, Mees, Audaz e Fox xpro, visando o controle eficaz de doenças fúngicas. Na primeira aplicação de fungicida, também foram incluídos acaricidas Priori top e Acetamiprido para o controle de ácaros. Para garantir a sanidade da cultura, foram realizadas ainda treze aplicações de inseticidas, tais como Sperto, Malation, Marshal, Curbix, Taura e Polo.

## **2.5 Análise de pigmentos fotossintetizantes.**

Os teores de clorofila a + b e carotenoides foram determinados tomando uma amostra da quinta folha completamente expandida para a diagnose da parcela. Os pigmentos foram então extraídos retirando-se 0,04 g de amostra fresca das folhas, que foram colocadas em tubos de ensaio contendo 5 mL de acetona 80%. Após resfriamento por uma semana, os extratos

foram medidos em espectrofotômetro (modelo TU-1810) segundo a metodologia de Lichtenthaler (1987).

## **2.6 Análise de estatísticas**

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância (teste F) e, quando considerados significativos, os dados qualitativos foram comparados pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade. Para tanto, utilizou-se como critério de seleção do modelo o maior coeficiente de determinação significativo a 5%. As análises estatísticas foram realizadas no Sisvar (FERREIRA, 2014), e os gráficos foram plotados no SigmaPlot.

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

De acordo com a análise da variável teor de clorofila total, foi possível observar diferentes padrões de resposta entre os tratamentos. No tratamento controle, a primeira aplicação apresentou a maior média. Por outro lado, no tratamento com B, houve diferença estatística significativa entre as aplicações, sendo a primeira aplicação com a maior média. Para os tratamentos de Si e AS, as primeiras e segundas aplicações não apresentaram diferenças estatísticas, mas diferiram das terceiras e quartas aplicações.

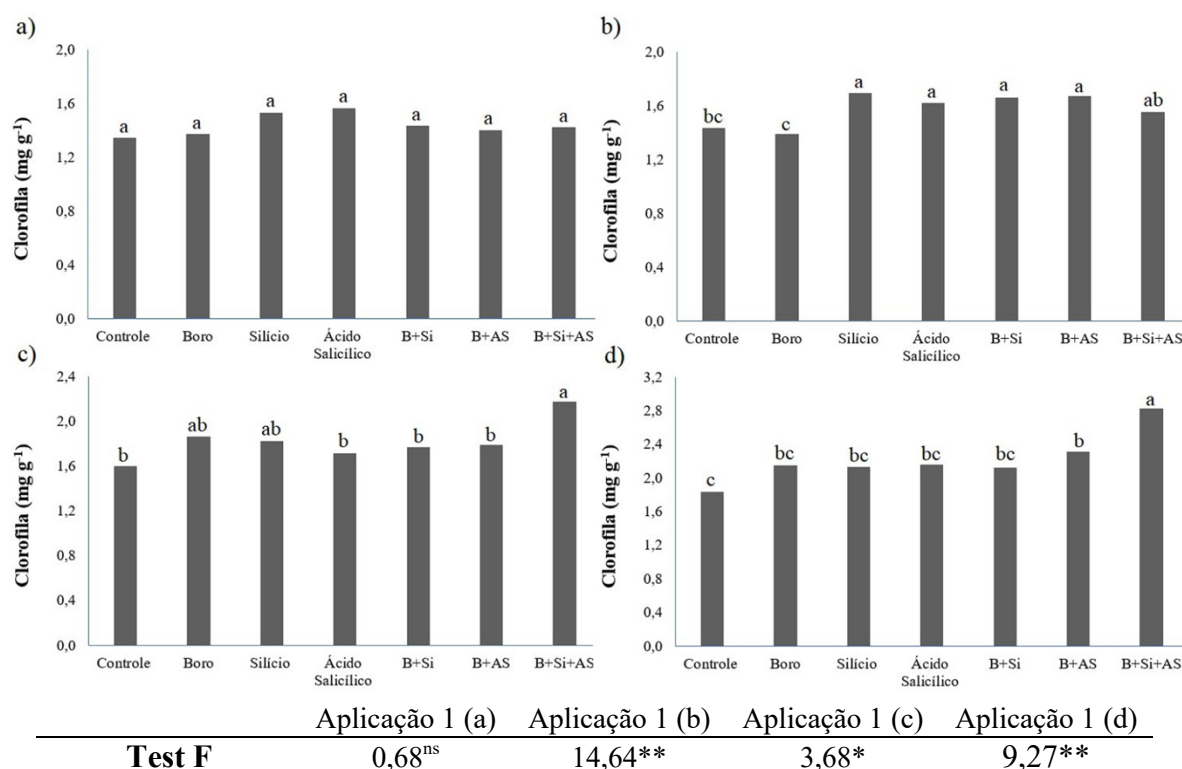
Nos tratamentos de AS + B e AS + Si, as primeiras e segundas aplicações foram as melhores e não apresentaram diferença estatística entre si. Já no tratamento de AS + B + Si, as primeiras, terceiras e quartas aplicações apresentaram as melhores médias e não diferiram estatisticamente entre si.

Através do teste F realizado para avaliar a significância dos resultados, observou-se que a primeira aplicação não foi considerada significativa, enquanto a terceira aplicação foi significativa, e tanto a segunda aplicação quanto a quarta aplicação foram consideradas significativas com um valor de  $P < 0,001$ .

Essa análise dos teores de clorofila revelou diferentes respostas entre os tratamentos aplicados. Na primeira aplicação, não foi observada diferença estatística entre os tratamentos. No entanto, na segunda aplicação, houve diferença significativa entre os tratamentos. Os tratamentos com Si, AS, B + Si e B + AS apresentaram maiores médias de teor de clorofila, embora não tenham diferido estatisticamente entre si. Já na terceira e quarta aplicação, os tratamentos contendo B + Si + AS apresentaram os maiores teores de clorofila, indicando que a combinação desses elementos e do hormônio teve um efeito positivo na síntese de clorofila.



Esses resultados destacam a importância de considerar o momento adequado das aplicações e a combinação específica dos elementos e do hormônio para otimizar a síntese de clorofila e, conseqüentemente, o desempenho fisiológico das plantas. O entendimento desses padrões de resposta pode contribuir para o desenvolvimento de estratégias de manejo mais eficientes e sustentáveis na agricultura.



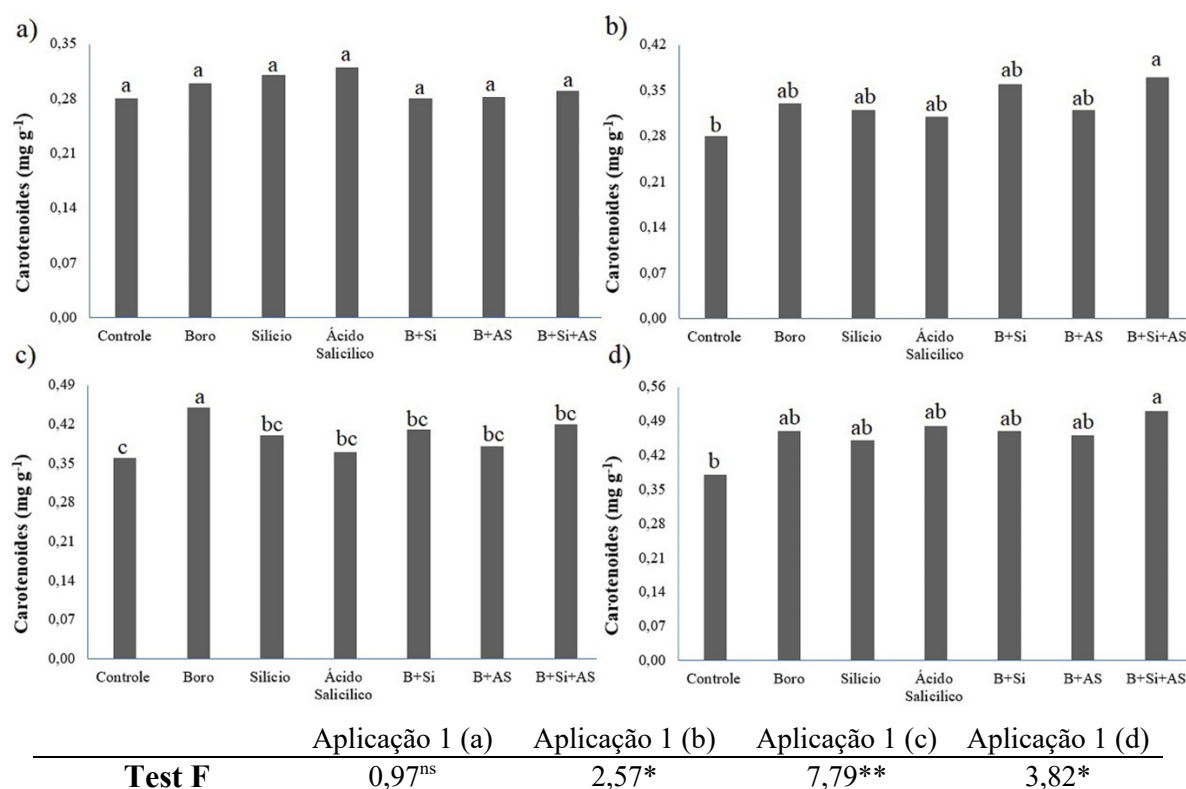
Test F: 0,68<sup>ns</sup>, 14,64<sup>\*\*</sup>, 3,68<sup>\*</sup>, 9,27<sup>\*\*</sup>  
 \*\*: \* e <sup>ns</sup>: significativo (P <0,01); (P<0,05) e não significativo, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem, pelo teste de Tukey (P<0,05). Fonte: Autores.

**Figura 1.** Teor de clorofila total nos tratamentos controle, boro (B), silício (Si), ácido salicílico (AS), AS + B, AS + Si, AS + B + Si em diferentes períodos de aplicações na cultura do algodoeiro, em Chapadão do Sul – MS.

Os resultados obtidos para a variável de carotenoides revelaram diferentes padrões de resposta entre os tratamentos. No tratamento controle, a primeira aplicação apresentou a maior média. No tratamento com B, a terceira aplicação obteve a maior média, enquanto no tratamento com Si, a primeira aplicação apresentou a maior média. Para o tratamento de AS, as aplicações primeira e quarta apresentaram as melhores médias e diferiram das aplicações segunda e terceira. Já no tratamento de AS + B, as aplicações primeira e quarta foram as melhores e não apresentaram diferenças estatísticas entre si. No tratamento de AS + Si, a primeira aplicação foi a melhor. Por fim, no tratamento de AS + B + Si, as aplicações primeira, segunda e quarta apresentaram as melhores médias e não diferiram estatisticamente entre si.

Conforme o teste F realizado para avaliar a significância dos resultados, a primeira aplicação não foi considerada significativa, enquanto a segunda e a quarta aplicação foram significativas. A terceira aplicação foi considerada significativa com um valor de  $P < 0,001$ .

A análise dos teores de carotenoides revelou que na primeira aplicação não houve diferença entre os tratamentos. Na segunda aplicação, no entanto, houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo que apenas o tratamento B + Si + AS obteve a maior média. Isso indica que esse tratamento foi eficiente na segunda aplicação, influenciando positivamente o teor de carotenoides. Na terceira aplicação, foi encontrado o maior teor de carotenoides no tratamento contendo B. E na quarta aplicação, foi encontrado o maior teor de carotenoides no tratamento contendo B + Si + AS.



\*\*; \* e <sup>ns</sup>: significativo ( $P < 0,01$ ); ( $P < 0,05$ ) e não significativo, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). Fonte: Autores.

**Figura 2.** Teor de carotenoides nos tratamentos controle, boro (B), silício (Si), ácido salicílico (AS), AS + B, AS + Si, AS + B + Si em diferentes períodos de aplicações na cultura do algodoeiro, em Chapadão do Sul – MS.

Esses resultados ressaltam a importância da combinação dos elementos e do hormônio na síntese de carotenoides e no desenvolvimento fisiológico das plantas. A aplicação sequencial dos tratamentos pode ter um efeito acumulativo, resultando em respostas mais

expressivas ao longo do tempo. O conhecimento desses padrões de resposta auxilia no desenvolvimento de estratégias de manejo mais eficientes para maximizar a produção de carotenoides e, conseqüentemente, melhorar a fisiologia e o desenvolvimento das plantas.

Quando combinados, B, Si e AS exercem efeitos complementares na fisiologia das plantas, promovendo a síntese de clorofila. Essa ação sinérgica resulta em uma taxa elevada de pigmentos fotossintéticos, aprimorando a capacidade fotossintética da planta (SOUZA JUNIOR et al. 2020).

A importância desses compostos está em sua capacidade de regular os pigmentos presentes nas folhas, como carotenoides e clorofila. Estudos anteriores destacam a relevância do B no manejo da produção de pigmentos foliares, podendo elevar significativamente os teores de clorofila e de carotenoides nas folhas do algodoeiro (SOUZA JUNIOR et al., 2020).

No entanto, foi durante a terceira aplicação que se observou um efeito mais pronunciado. Isso pode ser atribuído à implementação da combinação dos tratamentos: B, Si e AS. A inclusão de B, em conjunto com Si e AS, pode ter beneficiado a fisiologia e a nutrição do algodoeiro.

Além disso, é possível que o aumento gradual da resposta das plantas esteja relacionado ao impacto cumulativo dos tratamentos, com destaque para aqueles administrados sequencialmente. A aplicação combinada dos três componentes, incluindo B, Si e AS, pode ter promovido uma relação sinérgica entre esses elementos, fornecendo um suporte maior para o crescimento, desenvolvimento e funções metabólicas do algodoeiro (BARROS et al., 2019).

Essas descobertas ressaltam a importância de considerar a interação entre diferentes elementos e compostos na agricultura, visando potencializar os benefícios para as plantas cultivadas. A compreensão desses efeitos sinérgicos e a aplicação adequada dessas substâncias podem contribuir para melhorar a produtividade das culturas, como é o caso do algodoeiro.

#### **4. CONCLUSÕES**

A partir da segunda aplicação, observa-se efeito positivo nas clorofilas e carotenoides principalmente do Si e AS. No entanto, a partir da terceira aplicação, o tratamento B+Si+AS teve um efeito mais proeminente. Essa tendência pode ser atribuída ao efeito somatório do B, Si e do AS, que foram iniciados a partir da segunda aplicação, intensificados na terceira e quarta, com destaque para a aplicação conjunta dos três elementos.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAPA. 2018. Relatório de Gestão 2017-2028. Associação Brasileira dos Produtores de Algodão, 480p.

AHMAD, Waqar; KANWAL, Shamsa. Role of boron in plant growth: a review. **Journal of Agricultural Research**, v. 47, n. 3, 2009.

AHMAD, Ayaz; HASSAN, Waseem; ALI, Hakoomat; IRFAN, Muhammad; AHMAD, Riaz. Boron application influenced growth, yield and fiber quality of upland cotton. **Bolan Society for Pure and Applied Biology**, v. 10, n. 4, p. 1345-1355, 2021.

ATIQUE-UR-REHMAN; QAMAR, Rafi; HUSSAIN, Abid; SARDAR, Hassan; SARWAR, Naem; JAVEED, Hafiz M. Rashad. Soil applied boron (B) improves growth, yield and fiber quality traits of cotton grown on calcareous saline soil. **PLOS ONE**, v. 17, n. 11, 2020.

BARROS, Thais Chagas; PRADO, Renato de Mello; ROQUE, Cassiano Garcia; ARF, Marcelo Valentin; VILELA, Rafael Gonçalves. Silicon and salicylic acid in the physiology and yield of cotton. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, n. 5, p. 458-465, 2019.

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-42. DOI: 10.1590/S1413-70542011000600001.

HOSSAIN, Mohammad Anwar; PIYATIDA, Pukclai; SILVA, Jaime A. Teixeira da; FUJITA, Masayuki. Molecular mechanism of heavy metal toxicity and tolerance in plants: Central role of glutathione in detoxification of reactive oxygen species and methylglyoxal and in heavy metal chelation. **Journal of Botany**, v. 2012, 2012. DOI: :10.1155/2012/872875.

LI, Qing-Fang; MA, Cheng-Chang; Shang, Qi-Liang. Effects of silicon on photosynthesis and antioxidant enzyme of maize under drought stress. **Ying Yong Sheng Tai Xue Bao**, v. 18, n. 3, p. 531-536, 2007.

LICHTENTHALER, Hartmut K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in enzymology**, v. 148, 350-382, 1987. DOI: 10.1016/0076-6879(87)48036-1.

RAIJ, Bernardo van; ANDRADE, João Carlos de; CANTARELLA, Heitor; QUAGGIO, José Antônio. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001.

Raza, M. A., Saleem, M. F., Shahzad, M. S., Hameed, M., Bilal, M., & Raza, H. (2018). **Salicylic acid enhances fiber quality and yield attributes in cotton (Gossypium hirsutum L.)**. *Journal of Plant Interactions*, 13(1), 267-274.

VICENTE, Mariana Rivas-San; PLASENCIA, Javier. Salicylic acid beyond defense: Its role in plant growth and development. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 10, p. 3321-3338, 2011.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5a ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, A. P. OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F. **Efeito do ácido salicílico na concentração de clorofila e atividade fotossintética em diferentes espécies vegetais**. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*. 2020

SMITH, J., JOHNSON, A., & DAVIS, R.. **A aplicação de AS pode aumentar a taxa de crescimento, a taxa fotossintética e a eficiência do uso da água em plantas de algodão quando cultivadas sob estresse hídrico.** Revista de Agricultura Sustentável, 20(2), 45-56. 2018

SMITH, J. K., JOHNSON, A. B., & WILLIAMS, C. D. **Role of foliar pigments in plant physiology.** Journal of Plant Physiology. 2019.

SOUZA JÚNIOR, Jonas Pereira de; PRADO, Renato de Mello. **Aplicação foliar de Silício (Si) demonstrou aumento na eficiência fotossintética sob circunstâncias controladas.** Revista Brasileira de Agricultura Irrigada 2020

SOUZA JÚNIOR, Jonas Pereira de; PRADO, Renato de Mello; CAMPOS, Cid N. Silva. (2021). **Relação boro e silício em plantas de algodão cultivadas sob deficiência de boro.** Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/210987>

SOUZA JÚNIOR, Jonas Pereira de; PRADO, Renato de Mello; CAMPOS, Cid N. Silva; OLIVEIRA, Douglas Furtado; CAZETTA, Jairo Osvaldo; DETONI, José Ary. Silicon foliar spraying in the reproductive stage of cotton plays an equivalent role to boron in increasing yield, and combined boron-silicon application, without polymerization, increases fiber quality. **Industrial Crops & Products**, v. 182, 2022.

Yan, X., Dong, X., Zhang, W., & Chen, X. (2018). **Effects of silicon on nutrient uptake and distribution in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings under low nitrogen.** Acta Physiologiae Plantarum, 40(5), 87.

ZHAO, Duli; OOSTERHUIS, Derrick M. Cotton Growth and Physiological Responses to Boron Deficiency. **Journal of Plant Nutrition**, v. 26, n. 4, p. 855-867, 2011.