

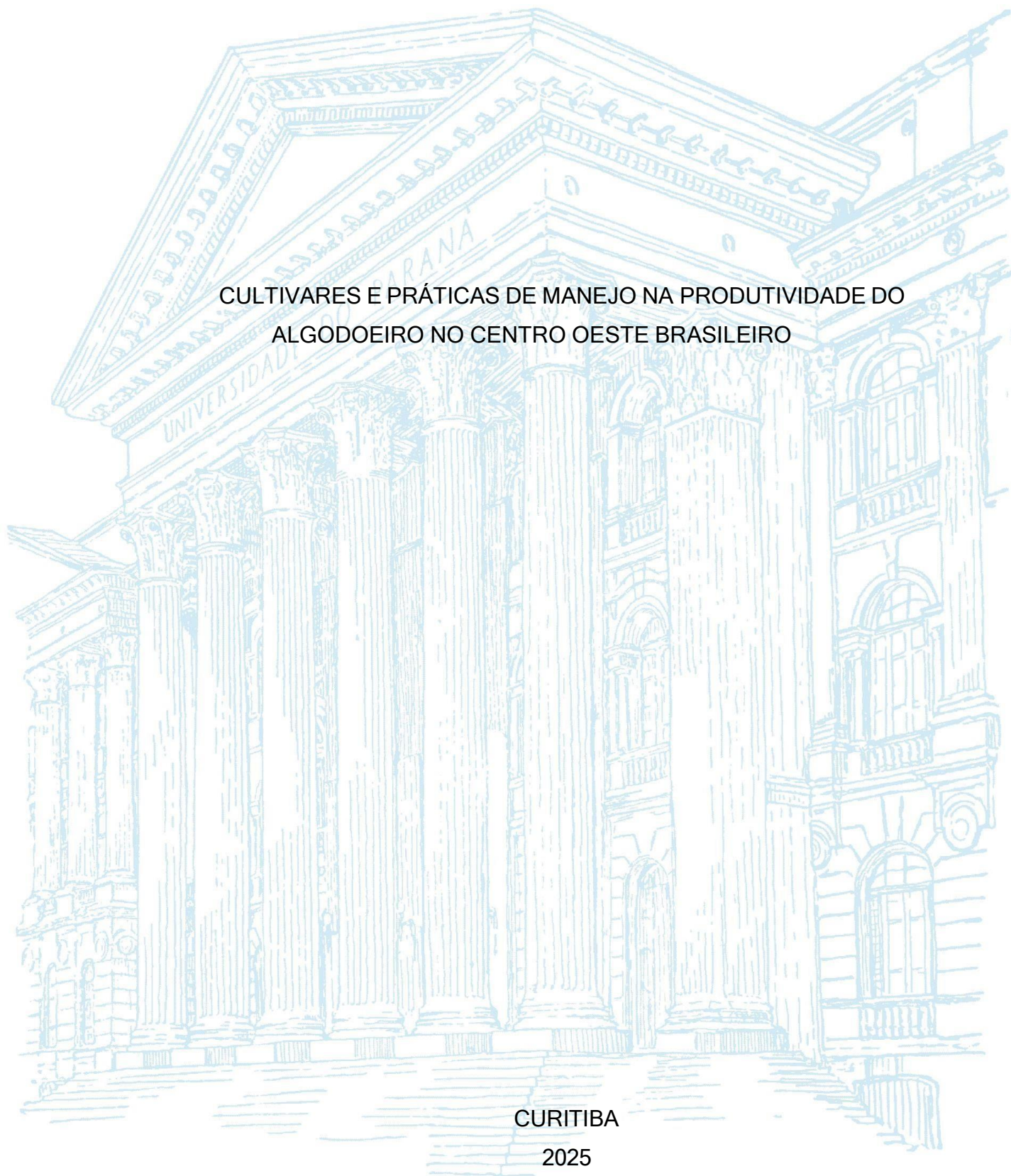
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Luis Eduardo Roggenbach Leitolles

CULTIVARES E PRÁTICAS DE MANEJO NA PRODUTIVIDADE DO
ALGODOEIRO NO CENTRO OESTE BRASILEIRO

CURITIBA

2025



Luis Eduardo Roggenbach Leitolles

CULTIVARES E PRÁTICAS DE MANEJO NA PRODUTIVIDADE DO
ALGODOEIRO NO CENTRO OESTE BRASILEIRO

Trabalho de conclusão de curso, apresentada ao curso de Graduação, em Curitiba-PR, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Volnei Paulletti

CURITIBA
2025

TERMO DE APROVAÇÃO

LUIS EDUARDO ROGGENBACH LEITOLLES

CULTIVARES E PRÁTICAS DE MANEJO NA PRODUTIVIDADE DO ALGODOEIRO NO CENTRO OESTE BRASILEIRO

TCC apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Agrônômica, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Volnei Paulleti

Prof. Dr. Prof. Dr. Volnei Paulleti

Orientador– Departamento de Solos e Engenharia Agrícola,
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Jair Augusto Zanon

Prof. Dr. Jair Augusto Zanon

Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, UNIVERSIDADE FEDERAL
DO PARANÁ

Vinicius Charnecki Gohs

Msc. Vinicius Charnecki

Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, UNIVERSIDADE FEDERAL
DO PARANÁ

Curitiba, 07 de julho de 2025 de outubro de 2025.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado força, saúde e sabedoria durante toda a minha trajetória acadêmica. Sem Sua presença constante, nada disso teria sido possível. Aos meus familiares, pelo amor incondicional, pelo apoio em todos os momentos e por acreditarem em mim mesmo nos dias mais difíceis. Vocês foram meu alicerce e minha motivação para seguir em frente. Ao meu orientador, Prof. Dr. Volnei Paulletti, pela orientação precisa, paciência, dedicação e por compartilhar seu vasto conhecimento comigo. Sua contribuição foi essencial para a construção deste trabalho e para o meu crescimento acadêmico e pessoal. Ao engenheiro agrônomo Ygor Goes, supervisor do meu estágio, pela oportunidade, pela confiança e pelo aprendizado proporcionado durante esse período tão importante da minha formação.

Ao pesquisador Pedro Arnhold, supervisor da área da pesquisa, pela colaboração, disponibilidade e por ter contribuído diretamente para a realização deste estudo. A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste trabalho, meu sincero muito obrigado.

"Seja a mudança que você quer ver no mundo."

Mahatma Gandhi

RESUMO

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) é uma das principais culturas agrícolas do Brasil, com destaque para a região do Cerrado, onde é cultivado em sistemas tecnificados e de alta escala. A produtividade da cultura é influenciada por múltiplos fatores agronômicos, como o material genético, a época de plantio, o manejo de plantas daninhas e a nutrição mineral. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho agronômico do algodoeiro sob diferentes estratégias de manejo, incluindo a competição de cultivares em duas épocas de plantio, a aplicação de doses crescentes de glifosato, a utilização de diferentes fontes de enxofre na adubação de cobertura e o uso de herbicidas pré-emergentes no controle de plantas daninhas. Os ensaios foram conduzidos com a variedade FM 911 GLTP e outras cultivares comerciais, implantadas em condições padronizadas de manejo. A produtividade foi a principal variável analisada, expressa em arrobas por hectare. Os resultados indicaram que a época de plantio exerce influência significativa sobre o rendimento, sendo que cultivares com maior estabilidade fenotípica apresentaram bom desempenho mesmo sob condições menos favoráveis. Em relação ao glifosato, verificou-se que aplicações repetidas ou em doses elevadas resultaram em reduções na produtividade, sugerindo efeitos subletais mesmo em cultivares transgênicas tolerantes. Quanto à nutrição com enxofre, não foram observados ganhos produtivos expressivos, indicando que a adição do nutriente deve ser baseada em diagnóstico prévio da fertilidade do solo. Por fim, os tratamentos com herbicidas pré-emergentes apresentaram desempenhos variados, sendo que, em alguns casos, a testemunha sem capina superou tratamentos químicos, o que reforça a importância da análise local da infestação de plantas daninhas. De modo geral, o trabalho evidencia a necessidade de um manejo integrado e tecnicamente embasado para a cultura do algodoeiro, considerando a interação entre os diferentes fatores que afetam a produtividade. As informações geradas contribuem para a adoção de estratégias mais eficientes, sustentáveis e adaptadas às condições regionais de cultivo.

Palavras-chave: Algodão; genótipos; glifosato; enxofre; herbicida pré-emergente; manejo agronômico.

ABSTRACT

Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) is one of the most important agricultural crops in Brazil, especially in the Cerrado region, where it is cultivated under highly technified and large-scale systems. The productivity of the crop is influenced by multiple agronomic factors, including genetic material, planting time, weed management, and mineral nutrition. In this context, the present study aimed to evaluate the agronomic performance of cotton under different management strategies, including cultivar competition in two planting dates, the application of increasing doses of glyphosate, the use of different sulfur sources in topdressing fertilization, and the application of pre-emergent herbicides for weed control. The trials were conducted using the cultivar FM 911 GLTP and other commercial varieties, grown under standardized management conditions. Productivity was the main variable analyzed, expressed in arrobas per hectare. The results showed that planting time had a significant influence on yield, with cultivars presenting greater phenotypic stability performing better even under less favorable environmental conditions. Regarding glyphosate, repeated applications or high doses led to yield reductions, suggesting sublethal effects even in transgenic glyphosate-tolerant cultivars. In terms of sulfur nutrition, no significant yield gains were observed, indicating that sulfur supplementation should be based on prior soil fertility diagnostics. Lastly, the pre-emergent herbicide treatments showed varied performance, and in some cases, the untreated control outperformed chemical treatments, reinforcing the need for localized weed pressure assessments. Overall, the study highlights the importance of integrated and technically based management practices for cotton cultivation, considering the interaction between the multiple factors that affect productivity. The results contribute to the adoption of more efficient, sustainable, and regionally adapted strategies for the cotton production system.

Keywords: Cotton; cultivars; glyphosate; sulfur; pre-emergent herbicide; agronomic management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Porcentagem de algodão produzido nos maiores produtores de algodão do mundo	17
Figura 2 - Imagem do local onde as análises ocorreram.....	23
Figura 3 - Produtividade de cultivares em uma competição de variedades (1ª época). Os valores representam a produtividade em sacas por hectare (@/HA) para cada cultivar. As cultivares estão listadas à esquerda, ordenadas por desempenho crescente, e os valores numéricos à direita indicam a produtividade específica	30
Figura 4 - Desempenho de cultivares na competição de variedades (2ª época).....	31
Figura 5 - Comparação da produtividade em resposta a doses crescentes de glifosato (kg/ha).....	33
Figura 6 - Comparação da produtividade (kg/ha) em diferentes tratamentos com fontes de enxofre no sistema soja-algodão	35
Figura 7 - Comparação da produtividade (kg/ha) em diferentes tratamentos com herbicidas pré-emergentes.....	37

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - EFEITO DE DIFERENTES DOSES E NÚMERO DE APLICAÇÕES DE GLIFOSATO NA PRODUTIVIDADE (KG/HA)	33
TABELA 2 - EFEITO DE DIFERENTES FONTES E MANEJO DE ENXOFRE (S) NA PRODUTIVIDADE (KG/HA) NO SISTEMA SOJA-ALGODÃO	35
TABELA 3 - EFICÁCIA DE HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES NO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS, COM DOSES APLICADAS (L/HA) E RESULTADOS DE PRODUTIVIDADE (KG/HA)	37

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

FM	- FiberMax (marca comercial da cultivar FM 911 GLTP)
GLTP -	- GlyTol®, LibertyLink®, TwinLink Plus® (tecnologias transgênicas incorporadas)
DBC -	- Delineamento em Blocos Casualizados
RR -	- Roundup Ready® (tecnologia transgênica resistente a glifosato)
SAM -	- Sulfato de Amônio
SULFURGRAN -	- Fertilizante granulado fonte de enxofre
EPSPs -	- 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase (enzima-alvo do glifosato)

LISTA DE SÍMBOLOS

@/ha	- Produtividade de algodão em caroço
kg/ha	- Dose de produto aplicado por área
°C	- Temperatura
mm	- Precipitação pluviométrica
%	- Percentual
m	- Distância, comprimento
m ²	- Área superficial
t/ha	- Produtividade por área

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 PROBLEMA.....	18
1.2 OBJETIVOS	19
1.2.1 Objetivo geral.....	19
1.2.2 Objetivos específicos	19
1.3 JUSTIFICATIVA.....	19
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 A CULTURA DO ALGODOEIRO: IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E FISIOLÓGIA DO DESENVOLVIMENTO.....	16
2.2 MELHORAMENTO GENÉTICO E DESEMPENHO DE CULTIVARES DE ALGODÃO.....	18
2.3 USO DO GLIFOSATO NA CULTURA DO ALGODÃO: SELETIVIDADE, TOLERÂNCIA E EFEITOS FISIOLÓGICOS	19
2.4 NUTRIÇÃO MINERAL E MANEJO QUÍMICO NO ALGODÃO: FONTES DE ENXOFRE E HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES	21
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 LOCAL, ÉPOCA E CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS	23
3.2 TRATAMENTOS AVALIADOS.....	25
3.2.1 Competição de Variedades.....	25
3.2.2 Doses de Glifosato.....	25
3.2.3 Fontes de Enxofre	26
3.2.4 Manejo de Pré-emergentes	27
3.3 VARIÁVEIS AVALIADAS	27
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	29
4.1 COMPETIÇÃO DE VARIEDADES - 1ª ÉPOCA	29
4.2 COMPETIÇÃO DE VARIEDADES - 2ª ÉPOCA	31
4.3 EFEITO DE DIFERENTES DOSES DE GLIFOSATO NA CULTURA DO ALGODOEIRO.....	32
4.4 FONTES DE ENXOFRE NA ADUBAÇÃO DE COBERTURA NO SISTEMA SOJA-ALGODÃO.....	34
4.5 MANEJO DE PRÉ-EMERGENTES NO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS	

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	40
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) é uma das culturas mais relevantes para a agricultura mundial, não apenas pela fibra têxtil de elevado valor comercial, mas também pela produção de sementes utilizadas na alimentação animal, extração de óleo e subprodutos industriais. Responsável por movimentar uma cadeia produtiva complexa e altamente tecnológica, o algodão representa um insumo estratégico para diversos setores econômicos, em especial as indústrias têxtil, de óleos vegetais e de biocombustíveis. No cenário internacional, o Brasil consolidou-se como um dos maiores produtores e exportadores de algodão, sendo o segundo maior exportador mundial e o quarto maior produtor, com destaque para a região do Cerrado, responsável por mais de 90% da produção nacional (Rathore et al., 2006, 2015; Constable & Bange, 2015; Rauf et al., 2019).

O sucesso da cotonicultura brasileira deve-se, em grande parte, à adoção de tecnologias modernas, incluindo cultivares geneticamente modificadas, agricultura de precisão, sistemas de cultivo intensivo e estratégias de manejo integradas. Contudo, a alta produtividade obtida em larga escala está diretamente relacionada ao correto planejamento agrônomo, que envolve a escolha da cultivar mais adaptada à região, a época de plantio mais apropriada, o fornecimento equilibrado de nutrientes e o controle eficiente de plantas daninhas e pragas. A cultura do algodão, por sua natureza indeterminada e alta exigência nutricional e sanitária, apresenta sensibilidade a variações no ambiente e no manejo, tornando-se fundamental a adoção de práticas baseadas em critérios técnicos e informações locais (Borém et al., 2003; Barros et al., 2022).

Entre os principais fatores que condicionam o desempenho da cultura, destaca-se a interação genótipo $\times$ ambiente ($G \times E$), responsável por variações significativas no rendimento entre cultivares e entre épocas de plantio. Diferentes materiais genéticos podem responder de maneira contrastante às condições climáticas, à fertilidade do solo e ao regime hídrico, o que torna imprescindível a avaliação de cultivares em ensaios regionais e em diferentes janelas agrícolas. A escolha da época de semeadura, por sua vez, tem implicações diretas sobre a interceptação de radiação, duração do ciclo, sincronismo entre fases críticas e condições ambientais como temperatura, precipitação e fotoperíodo, podendo impactar de forma positiva ou negativa a produtividade final (Ramalho, 1994; Vieira et al., 2018; Hoffmann et al., 2019; Barros et al., 2022; Otto et al., 2023).

Outro componente-chave no sistema produtivo do algodão é o manejo de plantas

daninhas, cuja interferência, principalmente nas fases iniciais da cultura, pode comprometer severamente o crescimento, a formação de estruturas reprodutivas e a eficiência do uso de nutrientes e da água. Nesse contexto, o uso do herbicida glifosato tornou-se amplamente difundido devido à eficácia no controle de uma ampla gama de espécies infestantes e à praticidade operacional. No entanto, mesmo em cultivares transgênicas resistentes, o uso intensivo e repetido do glifosato pode gerar efeitos subletais na cultura, como distúrbios metabólicos, atraso no crescimento e perdas de produtividade, além de contribuir para a seleção de biótipos resistentes (Ramalho, 1994; Vieira et al., 2018; Hoffmann et al., 2019; Barros et al., 2022; Otto et al., 2023).

Paralelamente ao manejo químico, a nutrição mineral adequada é indispensável para garantir o bom desempenho do algodoeiro. Dentre os nutrientes essenciais, o enxofre (S) tem se destacado como elemento limitante em muitos solos tropicais, especialmente na região do Cerrado, onde os baixos teores de matéria orgânica contribuem para a baixa disponibilidade natural do nutriente. Além disso, as perdas por lixiviação e a ausência de S em diversas formulações de fertilizantes intensificam a deficiência. O enxofre é essencial para a síntese de aminoácidos sulfurados (como cisteína e metionina), proteínas, vitaminas e compostos de defesa. Sua deficiência compromete a taxa de fotossíntese, o desenvolvimento reprodutivo e a qualidade da fibra.

É importante considerar que diferentes fontes de S – como sulfato de amônio (SAM), sulfato simples (SS), gesso agrícola, e fertilizantes granulados como o SULFURGRAN – apresentam disponibilidades distintas. A escolha da fonte e do momento de aplicação, bem como sua interação com outros nutrientes como o nitrogênio, influenciam diretamente o aproveitamento do nutriente e a resposta da planta.

Por fim, destaca-se a crescente importância da adoção de herbicidas pré-emergentes no manejo inicial de plantas daninhas, especialmente como estratégia complementar ao glifosato. A escolha de moléculas com diferentes mecanismos de ação, aliada à aplicação no momento adequado, é fundamental para garantir controle eficaz, evitar fitotoxicidade e preservar o desenvolvimento inicial da cultura.

Assim, torna-se evidente a necessidade de um manejo agrônômico integrado e tecnicamente embasado, que considere a interação entre fatores genéticos, edafoclimáticos e de manejo. Esse entendimento serve de base para as decisões metodológicas do presente estudo, voltadas à avaliação de cultivares, épocas de plantio, doses de glifosato, fontes de enxofre e uso de herbicidas pré-emergentes.

1.1 PROBLEMA

O cultivo do algodoeiro no Brasil, especialmente na região do Cerrado, é caracterizado por elevada complexidade técnica e custos de produção significativos. Esses fatores demandam estratégias de manejo que garantam estabilidade produtiva, eficiência no uso de insumos e retorno econômico adequado. Nesse contexto, elementos como a escolha da cultivar, o planejamento da época de semeadura, o manejo de plantas daninhas e a suplementação nutricional, especialmente com enxofre, assumem papel decisivo para o sucesso da lavoura (Ramalho, 1994; Borém et al., 2003; Barros et al., 2022).

A diversidade de materiais genéticos disponíveis no mercado requer constante avaliação quanto ao seu desempenho em diferentes condições edafoclimáticas e sistemas de manejo, considerando a forte influência da interação genótipo $\times$ ambiente ($G \times E$) sobre a produtividade. Além disso, a definição da melhor época de plantio afeta diretamente variáveis críticas como o fotoperíodo, temperatura e regime hídrico, impactando o desenvolvimento fisiológico e reprodutivo das plantas.

Outro desafio relevante é o manejo químico de plantas daninhas. O uso intensivo e frequente do herbicida glifosato, embora eficaz, pode causar efeitos fisiológicos subletais mesmo em cultivares transgênicas, além de favorecer a seleção de biótipos resistentes. A adoção de herbicidas pré-emergentes surge como alternativa complementar, exigindo seleção criteriosa quanto à molécula, dose e momento de aplicação para garantir controle eficiente sem comprometer a cultura.

Quanto à nutrição mineral, o enxofre (S) é um macronutriente essencial que, em solos tropicais como os do Cerrado, frequentemente apresenta disponibilidade limitada devido à baixa matéria orgânica, alta taxa de lixiviação e ausência em muitos fertilizantes. Há incertezas quanto ao efeito produtivo de diferentes fontes e manejos de aplicação de S, especialmente em sistemas intensivos de sucessão soja-algodão.

Diante desse cenário, torna-se fundamental gerar informações regionais confiáveis sobre o desempenho de cultivares, épocas de plantio e práticas de manejo químico e nutricional, com vistas a orientar decisões agrônômicas mais eficientes, sustentáveis e adaptadas às condições do Cerrado.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho agronômico da cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) sob diferentes estratégias de manejo, considerando o efeito de cultivares, épocas de plantio, doses de glifosato, fontes de enxofre e herbicidas pré-emergentes.

1.2.2 Objetivos específicos

Avaliar a resposta do algodoeiro a diferentes doses acumuladas e frequências de aplicação do herbicida glifosato; • Verificar os efeitos da aplicação de distintas fontes de enxofre no sistema soja-algodão sobre a produtividade; • Analisar a eficiência de diferentes herbicidas pré-emergentes no controle inicial de plantas daninhas e seus impactos na produtividade; • Comparar o desempenho de cultivares comerciais em diferentes épocas de plantio, considerando estabilidade e adaptabilidade produtiva.

1.3 JUSTIFICATIVA

A produção de algodão no Cerrado brasileiro está inserida em um contexto de intensificação agrícola, alta exigência técnica e crescente demanda por práticas sustentáveis. Nesse cenário, a adoção de estratégias de manejo baseadas em evidências científicas é essencial para maximizar a produtividade e a eficiência do uso de recursos.

O presente trabalho justifica-se pela necessidade de gerar informações locais sobre a resposta de cultivares de algodoeiro em distintas épocas de plantio e sob diferentes práticas de manejo químico (glifosato, pré-emergentes) e nutricional (enxofre). A combinação desses fatores, ainda pouco explorada em conjunto, pode subsidiar a adoção de práticas mais equilibradas, que preservem o potencial produtivo das cultivares, minimizem riscos de fitotoxicidade e promovam maior sustentabilidade ao sistema produtivo.

Além disso, a identificação de interações entre fontes de enxofre e a cultura do algodoeiro, bem como entre herbicidas e desempenho fisiológico, contribui para o desenvolvimento de recomendações técnicas mais seguras e eficientes, apoiando o avanço da cotonicultura brasileira.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) é uma das culturas agrícolas mais relevantes para a economia nacional, destacando-se tanto pelo valor agregado da fibra quanto pela versatilidade de seus subprodutos. Em virtude da complexidade do sistema produtivo do algodão, diversos fatores interferem no seu desempenho agrônomo, como a escolha da cultivar, a época de plantio, o manejo de plantas daninhas e a nutrição mineral. A compreensão científica desses elementos é essencial para embasar estratégias de manejo que visem à maximização da produtividade e à sustentabilidade do cultivo. Assim, este tópico apresenta uma revisão da literatura sobre aspectos fundamentais da cultura do algodoeiro, com ênfase em seu desenvolvimento fisiológico, no uso de cultivares melhoradas, na interação com o herbicida glifosato e na importância da adubação com enxofre e do controle químico de plantas daninhas (Rathore et al., 2015; Rauf et al., 2019).

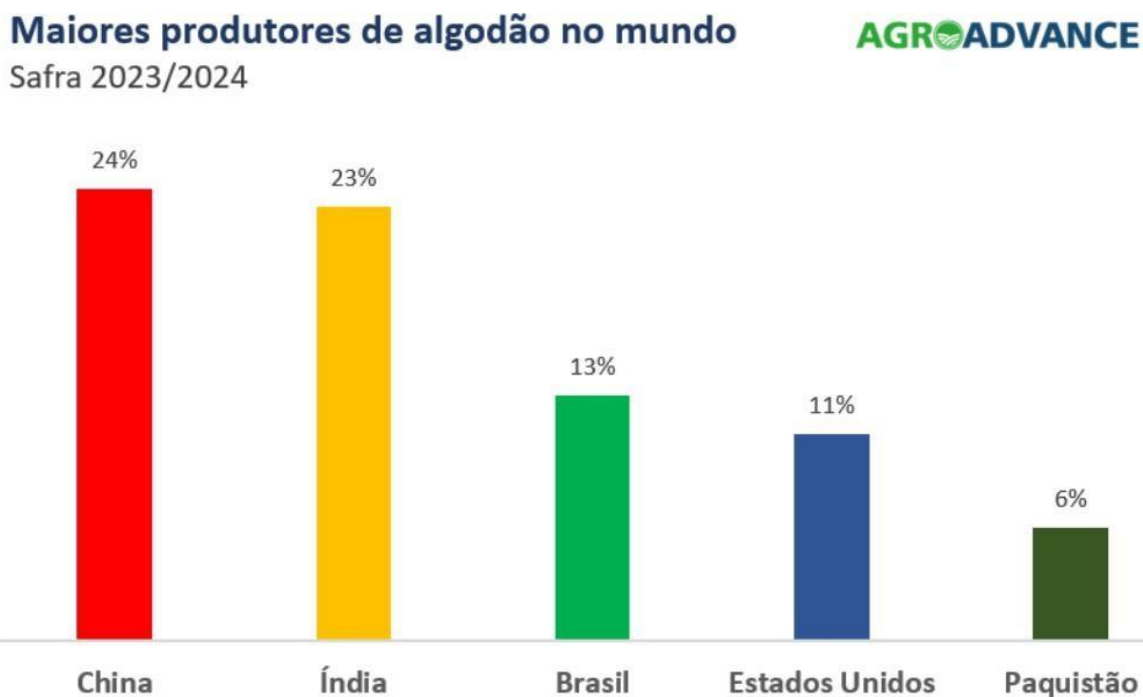
2.1 A CULTURA DO ALGODOEIRO: IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E FISIOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) é uma cultura de grande relevância econômica e social para o Brasil, especialmente nas regiões do Cerrado, onde predomina o cultivo em larga escala com elevado nível tecnológico. O país está entre os maiores produtores e exportadores de algodão do mundo, como representado na Figura 1, com destaque para a produção de fibra de alta qualidade, utilizada tanto no mercado interno quanto na indústria têxtil global. A cultura do algodão é estratégica por agregar valor não apenas à fibra, mas também aos subprodutos da colheita, como o caroço, utilizado na alimentação animal e na produção de óleo e farelo (Rathore et al., 2015; Rauf et al., 2019).

O desenvolvimento do algodoeiro ocorre de forma contínua e indeterminada, apresentando simultaneamente estruturas vegetativas e reprodutivas durante boa parte do ciclo. A planta é sensível a variações climáticas e demanda condições específicas para expressar seu pleno potencial produtivo. O clima ideal para o cultivo do algodão compreende temperaturas médias entre 25 e 32 °C, elevada disponibilidade de radiação solar, e precipitação bem distribuída durante as fases

iniciais de crescimento, seguida por clima seco durante a maturação e colheita, favorecendo a qualidade da fibra (Rathore et al., 2015; Rauf et al., 2019).

Figura 1 - Porcentagem de algodão produzido nos maiores produtores de algodão do mundo



FONTE: AGROADVANCE, 2024.

Do ponto de vista fisiológico, o algodoeiro passa por diferentes fases fenológicas: emergência, formação da estrutura vegetativa (crescimento de ramos e folhas), botões florais (square), floração, formação de maçãs e abertura das cápsulas (capulhos). Essas fases são diretamente influenciadas pelas condições edafoclimáticas, pela genética da cultivar e pelas práticas de manejo empregadas. A floração é um estágio crítico, pois coincide com alta demanda metabólica e é sensível a estresses bióticos e abióticos. A retenção de estruturas reprodutivas, em especial os primeiros botões e maçãs, é fator determinante da produtividade (Rauf et al., 2019; Otto et al., 2023).

Em termos de solo, o algodão exige ambientes bem drenados, com boa aeração e pH próximo da neutralidade, preferencialmente entre 5,8 e 6,5. Solos argilo-arenosos com elevada capacidade de retenção de nutrientes e profundidade eficaz favorecem o desenvolvimento do sistema radicular, essencial para o aproveitamento da água e dos nutrientes em profundidade. A cultura apresenta alta

exigência nutricional, destacando-se os macronutrientes nitrogênio (N), potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), além de micronutrientes como boro (B), fundamental para o crescimento do tubo polínico e formação das estruturas reprodutivas (Ramalho, 1994; Hoffmann et al., 2019; Otto et al., 2023).

O manejo fitossanitário do algodoeiro também é desafiador, dada sua suscetibilidade a pragas e doenças que podem comprometer severamente o rendimento e a qualidade da fibra. Insetos como o bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis*), lagartas, percevejos, bem como doenças como ramulária (*Ramulariopsis gossypii*) e mancha-alvo (*Corynespora cassiicola*), requerem monitoramento e controle sistemático. Assim, o sucesso na cultura do algodão está fortemente vinculado ao uso de tecnologias de manejo integrado, genética adaptada, aplicação racional de insumos e adoção de boas práticas agrícolas (Ramalho, 1994; Vieira et al., 2018; Rauf et al., 2019; Otto et al., 2023).

Esses aspectos evidenciam que, para alcançar altas produtividades com sustentabilidade, é necessário compreender a fisiologia do algodoeiro em conjunto com as exigências ambientais e nutricionais da cultura. Essa base conceitual sustenta as decisões metodológicas do presente trabalho, voltadas à avaliação de cultivares, estratégias de manejo químico e nutricional, além da adequação da época de plantio como fator crítico para o sucesso do sistema produtivo.

2.2 MELHORAMENTO GENÉTICO E DESEMPENHO DE CULTIVARES DE ALGODÃO

Considerando as altas exigências fisiológicas e nutricionais da cultura do algodão, abordadas anteriormente, torna-se evidente a importância da utilização de cultivares geneticamente adaptadas às condições edafoclimáticas regionais e ao sistema de manejo adotado. O melhoramento genético do algodoeiro tem sido um dos principais pilares para o avanço da cotonicultura no Brasil, permitindo ganhos expressivos em produtividade, qualidade da fibra e resistência a estresses bióticos e abióticos (Malik et al., 2014; Boopathi et al., 2015; G. Constable et al., 2015; Kelly et al., 2019; Conaty & Constable, 2020).

Historicamente, o programa de melhoramento genético do algodoeiro tem se concentrado em características como alto potencial produtivo, resistência a pragas e doenças, qualidade de fibra (comprimento, resistência e uniformidade) e adaptação

às condições climáticas específicas das regiões produtoras. A incorporação de eventos transgênicos trouxe uma revolução no cultivo, com a inserção de características como resistência a insetos (Bt) e tolerância a herbicidas, especialmente ao glifosato (RR – Roundup Ready), o que reduziu o número de aplicações inseticidas e possibilitou maior flexibilidade no manejo de plantas daninhas (Ramalho, 1994; Malik et al., 2014; Conaty & Constable, 2020).

A tolerância ao glifosato foi uma das inovações mais significativas, permitindo o uso desse herbicida de amplo espectro diretamente sobre a cultura, com menor risco de fitotoxicidade. No entanto, estudos recentes apontam que, mesmo em cultivares resistentes, o uso excessivo ou em doses elevadas pode provocar efeitos subletais, como alterações na fotossíntese, acúmulo de aminoácidos não proteicos e interferência na síntese de proteínas. Isso reforça a importância de avaliar o desempenho das cultivares frente a diferentes regimes de aplicação do herbicida, como proposto neste trabalho (Iqbal et al., 2019; Mei et al., 2019; Bajwa et al., 2024).

Além disso, o desempenho agrônômico das cultivares está diretamente relacionado à sua estabilidade fenotípica em diferentes ambientes e épocas de cultivo. A interação genótipo $\times$ ambiente ($G \times E$) é um fator determinante para a recomendação regional de variedades, pois influencia significativamente o rendimento e a adaptabilidade da planta. A avaliação de cultivares em diferentes janelas de plantio, como feito neste estudo, é essencial para identificar materiais que apresentem estabilidade produtiva, ou seja, capacidade de manter bom desempenho mesmo sob variações ambientais, como alterações no fotoperíodo, temperatura e regime hídrico (Iqbal et al., 2019; Mei et al., 2019; Bajwa et al., 2024).

Os critérios para recomendação de cultivares envolvem não apenas a produtividade absoluta, mas também aspectos como precocidade, arquitetura de planta, retenção de estruturas reprodutivas, resistência a doenças, e qualidade tecnológica da fibra. Em programas de melhoramento e em redes de ensaios regionais, utiliza-se com frequência a análise de desempenho em ambientes contrastantes para selecionar materiais mais estáveis e responsivos (Iqbal et al., 2019; Mei et al., 2019; Bajwa et al., 2024).

2.3 USO DO GLIFOSATO NA CULTURA DO ALGODÃO: SELETIVIDADE, TOLERÂNCIA E EFEITOS FISIOLÓGICOS

A incorporação da tolerância ao glifosato em cultivares de algodoeiro, como discutido anteriormente, foi um dos avanços mais impactantes do melhoramento genético moderno, permitindo maior eficiência no manejo de plantas daninhas e redução do uso de herbicidas seletivos convencionais. No entanto, para que o aproveitamento dessa tecnologia ocorra de forma sustentável, é fundamental compreender os mecanismos de ação do glifosato, os limites fisiológicos da tolerância das cultivares transgênicas e os potenciais efeitos negativos relacionados ao uso excessivo ou mal manejo do produto (Cerdeira & Duke, 2006; Plin-Srnic, 2006; Velmourougane et al., 2021).

O glifosato é um herbicida sistêmico, de ação não seletiva, pertencente à classe dos inibidores da enzima EPSPs (5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase), atuando sobre a via do ácido chiquímico, que é exclusiva de plantas, fungos e algumas bactérias. Ao inibir essa via metabólica, o glifosato bloqueia a biossíntese de aminoácidos aromáticos essenciais – fenilalanina, tirosina e triptofano – comprometendo a produção de proteínas, lignina, fitoalexinas e outros compostos secundários fundamentais para o crescimento e a defesa das plantas (Oliveira Neto et al., 2015; Velmourougane et al., 2021).

Em cultivares transgênicas tolerantes ao glifosato, como as que expressam o gene cp4-EPSPS derivado da bactéria *Agrobacterium tumefaciens*, a enzima-alvo é modificada para não ser inibida pelo herbicida, permitindo que a planta continue seu metabolismo normalmente após a aplicação. No entanto, essa tolerância é relativa e não ilimitada. Altas doses, aplicações repetidas ou condições ambientais adversas podem ultrapassar a capacidade metabólica da planta, ocasionando fitotoxicidade subletal, que pode se manifestar na forma de clorose foliar, atraso no crescimento, redução da área foliar, menor retenção de estruturas reprodutivas e queda de produtividade (Oliveira Neto et al., 2015; Karthik et al., 2020).

Além disso, o glifosato pode interferir em processos fisiológicos secundários mesmo em plantas resistentes, afetando o fluxo de carboidratos, o metabolismo do nitrogênio e a atividade enzimática antioxidante, sobretudo em tecidos jovens ou sob estresse abiótico simultâneo, como deficiência hídrica ou excesso de calor. Estudos também relatam acúmulo de shiquimato e alterações na expressão gênica de rotas associadas à defesa vegetal, o que pode tornar a planta mais vulnerável a doenças quando exposta a doses elevadas (Oliveira Neto et al., 2015; Karthik et al., 2020; Velmourougane et al., 2021).

A frequência de aplicação também é um fator crítico. Aplicações sequenciais com intervalo reduzido podem impedir a recuperação fisiológica da planta entre os eventos, elevando o risco de efeitos cumulativos negativos. A literatura sugere que aplicações únicas, em doses controladas, e em estágios adequados da planta são preferíveis para preservar a produtividade (Cerdeira & Duke, 2006; Karthik et al., 2020; Oliveira Neto et al., 2015; Plin-Srnic, 2006; Velmourougane et al., 2021).

Em síntese, o glifosato permanece uma ferramenta valiosa no manejo de plantas daninhas na cultura do algodão, mas seu uso deve ser tecnicamente embasado e ajustado à tolerância da cultivar, à fase fenológica da planta e às condições ambientais. O uso inadequado não apenas compromete o rendimento, como também contribui para a seleção de biótipos resistentes e desequilíbrios no sistema produtivo.

2.4 NUTRIÇÃO MINERAL E MANEJO QUÍMICO NO ALGODÃO: FONTES DE ENXOFRE E HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES

O enxofre (S) é essencial para o algodoeiro, participando da síntese de aminoácidos sulfurados (cisteína, metionina), vitaminas e compostos de defesa. Em solos tropicais, especialmente no Cerrado, a deficiência de S é comum devido à baixa matéria orgânica, alta lixiviação e ausência em fertilizantes convencionais. A suplementação com S é ainda mais importante em sistemas de cultivo intensivo como o soja-algodão.

As fontes mais utilizadas incluem o sulfato de amônio (SAM), sulfato simples, gesso agrícola e fertilizantes granulados com liberação controlada, como o SULFURGRAN. Além de S, alguns desses produtos fornecem micronutrientes como boro (B), contribuindo para a saúde reprodutiva das plantas. A escolha da fonte e da época de aplicação deve considerar a interação com o nitrogênio e o histórico da fertilidade do solo, para evitar antagonismos e acidificação da rizosfera.

Do ponto de vista fitossanitário, o uso de herbicidas pré-emergentes representa importante estratégia complementar ao glifosato. Moléculas como trifluralina, diuron, S-metolaclo e amônio-glufosinato atuam em mecanismos distintos e apresentam controle residual. A eficácia desses produtos depende da umidade do solo, cobertura vegetal, dose e momento da aplicação. A combinação de práticas químicas e culturais, aliada ao monitoramento de resistência, é fundamental para garantir o sucesso do manejo integrado de plantas daninhas (MIPD).

A adoção de uma abordagem integrada de adubação e controle químico, associada ao conhecimento sobre as limitações dos solos e à escolha de cultivares adaptadas, é

essencial para otimizar a produtividade do algodoeiro no Cerrado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL, ÉPOCA E CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

Os experimentos foram conduzidos ao longo da safra agrícola 2023/24 na Fazenda Querência (Figura 2), localizada a aproximadamente 120 km de Tangará da Serra, no estado de Mato Grosso, Brasil. A propriedade integra o Grupo Crestani, empresa voltada ao setor agropecuário, com foco na produção de algodão, soja e milho. A área destinada à pesquisa agrícola ocupa aproximadamente 50 hectares, subdivididos em seis talhões de 7,8 hectares cada, sendo o experimento instalado no talhão 5, destinado especificamente à condução de ensaios com o algodoeiro e a soja. As coordenadas geográficas da área de pesquisa são 14°28'46,3" de latitude Sul e 58°21'40,4" de longitude Oeste.

Figura 2 - Imagem do local onde as análises ocorreram



FONTE: O autor (2025).

O clima da região é classificado como tropical, com estação chuvosa predominante no verão (de outubro a abril) e estação seca no inverno (de maio a setembro). A altitude média da fazenda é de 717 metros, com temperatura média anual de 24,9 °C e precipitação média anual de 1.499 mm. O solo da área

experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, caracterizado por ser profundo, bem drenado, de textura média a argilosa e baixa fertilidade natural, exigindo manejo nutricional adequado para culturas de alta exigência. Na safra anterior (2022/23), a área foi cultivada com soja e algodão em sistema de plantio direto, mantendo cobertura vegetal residual que favorece a conservação da umidade e da estrutura do solo.

A variedade principal utilizada nos ensaios foi a FM 911 GLTP, cultivar de ciclo precoce (140 a 160 dias), desenvolvida para sistemas produtivos de média a alta tecnologia. Esta cultivar apresenta tecnologias incorporadas GlyTol®, LibertyLink® e TwinLink Plus®. A tecnologia GlyTol® confere tolerância ao herbicida glifosato, por meio da expressão do gene 2mepsps; a tecnologia LibertyLink® permite o uso de herbicidas à base de glufosinato de amônio via inserção do gene bar; e a tecnologia TwinLink Plus® combina os genes Cry1Ab, Cry2Ae e Vip3A, que conferem ampla proteção contra lagartas de difícil controle, reduzindo a necessidade de aplicações inseticidas foliares.

A semeadura do experimento foi realizada em 15 de janeiro de 2024, utilizando o sistema de semeadura direta sobre palhada de soja. A emergência das plântulas foi observada aproximadamente 5 dias após a semeadura, no dia 20 de janeiro de 2024. Após a emergência, foi realizada adubação de cobertura, de acordo com a exigência nutricional da cultura e baseada na análise química do solo previamente realizada.

4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Todos os ensaios foram conduzidos em faixas, coletando-se cinco amostras por faixa. As parcelas (faixas) consistiram em 11 linhas de algodão com espaçamento de 0,90 m e densidade de semeadura ajustada para cerca de 11 plantas por metro, conforme recomendações da cultura (Ariel & Farrington, 2010; Ibrahim & Abdullahi, 2023). As amostras foram coletadas aleatoriamente dentro das faixas, no tamanho de 48 x 330 m, ou seja, 15840m²

3.2 TRATAMENTOS AVALIADOS

3.2.1 Competição de Variedades

Foram avaliadas diferentes cultivares de algodão (FM 911 GLTP (testemunha) e outras variedades comerciais recomendadas para a região) com o objetivo de determinar o potencial produtivo sob condições uniformes de manejo. A avaliação do desempenho genético entre materiais cultivados simultaneamente é uma prática consolidada para recomendação de cultivares adaptadas às condições locais. Todas as variedades foram implantadas nas duas épocas de plantio, com tratamentos culturais padronizados (mesma adubação de base, controle químico e reguladores de crescimento), conforme recomendações técnicas da cultura (Ibrahim & Abdullahi, 2023; Richmond, 1943). A semeadura foi realizada em duas épocas distintas: 22 de janeiro e 07 de fevereiro de 2024, com o objetivo de avaliar o desempenho das cultivares em diferentes janelas de plantio. O número de repetições consistiu em faixas, com a colheita de cinco parcelas dentro de cada faixa experimental para fins de análise estatística.

3.2.2 Doses de Glifosato

Neste ensaio foi utilizada a cultivar FM 911 GLTP, resistente ao herbicida glifosato. A semeadura ocorreu em 15 de janeiro de 2024, no sistema de plantio direto. A escolha do glifosato deve-se ao seu uso disseminado no cultivo do algodão transgênico resistente (RR), sendo considerado um dos principais herbicidas sistêmicos de ação total no manejo químico. Os tratamentos foram definidos com base na literatura sobre limites de tolerância da cultura:

- T1 - Testemunha sem aplicação (capina manual);
- T2 - 1 aplicação de 2 kg ha⁻¹ no dia 06/02;
- T3 - 2 aplicações de 2 kg ha⁻¹ (4 kg ha⁻¹) nos dias 07/02 e 13/02;
- T4 - 3 aplicações de 2 kg ha⁻¹ (6 kg ha⁻¹) nos dias 06/02, 13/02 e 22/02;
- T5 - 3 aplicações de 3 kg ha⁻¹ (9 kg ha⁻¹) nos dias 07/02, 13/02 e 22/02.

As aplicações foram realizadas com intervalo de sete dias entre si que avaliaram respostas morfofisiológicas do algodoeiro frente a aplicações repetidas de glifosato (Rao et al., 2023). As aplicações foram realizadas com pulverizador autopropelido, respeitando condições climáticas adequadas (temperatura, umidade e velocidade do vento). O delineamento experimental foi em faixas, com cinco parcelas colhidas por faixa para avaliação da produtividade.

3.2.3 Fontes de enxofre

O experimento de fontes de enxofre foi conduzido com a cultivar FM 911 GLTP, semeada em 15 de janeiro de 2024, no sistema de semeadura direta sobre palhada de soja. O objetivo foi avaliar o efeito de diferentes fontes e manejos de adubação sulfurada sobre a produtividade do algodoeiro, considerando aplicações realizadas na cultura antecessora (soja) e no próprio algodão.

- Tratamento 1 (Testemunha com enxofre na soja):

Soja: STP (200 kg/ha⁻¹), KCl (180 kg/ha⁻¹) e SULFURGRAN (50 kg/ha⁻¹).

Algodão: 05-32-04-07S (134 kg/ha⁻¹), KCl (250 kg ha⁻¹), GranBoro (20 kg/ha⁻¹) e ureia (400 kg/ha⁻¹). Não houve aplicação específica de fonte adicional de enxofre no algodão.

Teor total de enxofre no algodão: 9,38% proveniente do fertilizante composto.

- Tratamento 2 (Enxofre na soja + sulfato de amônio no algodão):

Soja: STP (200 kg/ha⁻¹), KCl (180 kg/ha⁻¹) e SULFURGRAN (50 kg/ha⁻¹).

Algodão: 05-32-04-07S (134 kg/ha⁻¹), KCl (250 kg/ha⁻¹), GranBoro (20 kg/ha⁻¹), sulfato de amônio (280 kg/ha⁻¹) e ureia (275 kg/ha⁻¹).

Teor total de enxofre no algodão: 76,58%.

- Tratamento 3 (Enxofre na soja e enxofre adicional no algodão):

Soja: STP (200 kg/ha⁻¹), KCl (180 kg/ha⁻¹) e SULFURGRAN (50 kg/ha⁻¹).

Algodão: 05-32-04-07S (134 kg/ha⁻¹), KCl (250 kg/ha), GranBoro (20 kg/ha⁻¹), SULFURGRAN (75 kg/ha⁻¹) e ureia (400 kg/ha⁻¹).

Teor total de enxofre no algodão: 77%.

- Tratamento 4 (Testemunha sem aplicação de enxofre):

Soja: STP (200 kg/ha⁻¹), KCl (180 kg/ha⁻¹). Não houve aplicação de enxofre na soja.

Algodão: 05-32-04-07S (134 kg/ha⁻¹), KCl (250 kg/ha⁻¹), GranBoro (20 kg/ha⁻¹) e ureia (400 kg/ha⁻¹).

Teor total de enxofre no algodão: 9,38% proveniente do fertilizante composto.

As fontes de enxofre utilizadas foram o SULFURGRAN®, fertilizante granulado com liberação gradual, e o sulfato de amônio (SAM), fonte solúvel de enxofre e nitrogênio, com o distribuidor agrícola Hércules 6.0.

O uso de enxofre na soja antecedeu a semeadura do algodão, caracterizando um manejo integrado entre as culturas do sistema sucessão soja-algodão.

3.2.4 Manejo de Pré-emergentes

Para o controle inicial de plantas daninhas, foram testadas diferentes estratégias com herbicidas pré-emergentes. A escolha dos produtos considerou mecanismos de ação distintos e residualidade, características fundamentais para garantir controle prolongado e prevenir a seleção de biótipos resistentes. Os tratamentos foram:

- T1 - Flex ($1,5 \text{ L/ha}^{-1}$) + Dual Gold ($1,2 \text{ L/ha}^{-1}$);
- T2 - Premerlin (3 L/ha^{-1}) + Herburon (1 L/ha^{-1});
- T3 - Yamato ($0,3 \text{ L/ha}^{-1}$);
- T4 - Lifeline (3 L/ha^{-1});
- T5 - Testemunha sem capina.

Todos os produtos foram aplicados com pulverizador autopropelido, respeitando condições climáticas ideais de temperatura, vento e umidade relativa do ar (Ramalho, 1994; García-Ruiz et al., 2018; Xiao & Yin, 2019; Khamare et al., 2022; Khan et al., 2023; Otto et al., 2023).

3.3 VARIÁVEIS AVALIADAS

A principal variável observada em todos os ensaios foi a produtividade de algodão em caroço, expressa em arrobas por hectare ($@/\text{ha}^{-1}$). A colheita foi realizada no ponto de maturação fisiológica, com pesagem direta da produção de cada parcela. A produtividade é considerada um dos principais indicadores da eficiência do manejo adotado, sendo utilizada amplamente em estudos de avaliação agrônômica (Rao et al., 2023; Richmond, 1943; Yu et al., 2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a execução dos experimentos propostos e aplicação dos tratamentos conforme descrito na metodologia, foi possível obter dados consistentes que permitiram avaliar o desempenho da cultura do algodoeiro frente às diferentes condições testadas. As informações coletadas foram analisadas com base nos parâmetros de produtividade, permitindo a comparação entre cultivares, doses de herbicidas, fontes nutricionais e estratégias de manejo. A seguir, são apresentados e discutidos os resultados obtidos em cada etapa experimental, considerando os efeitos observados e suas implicações agronômicas.

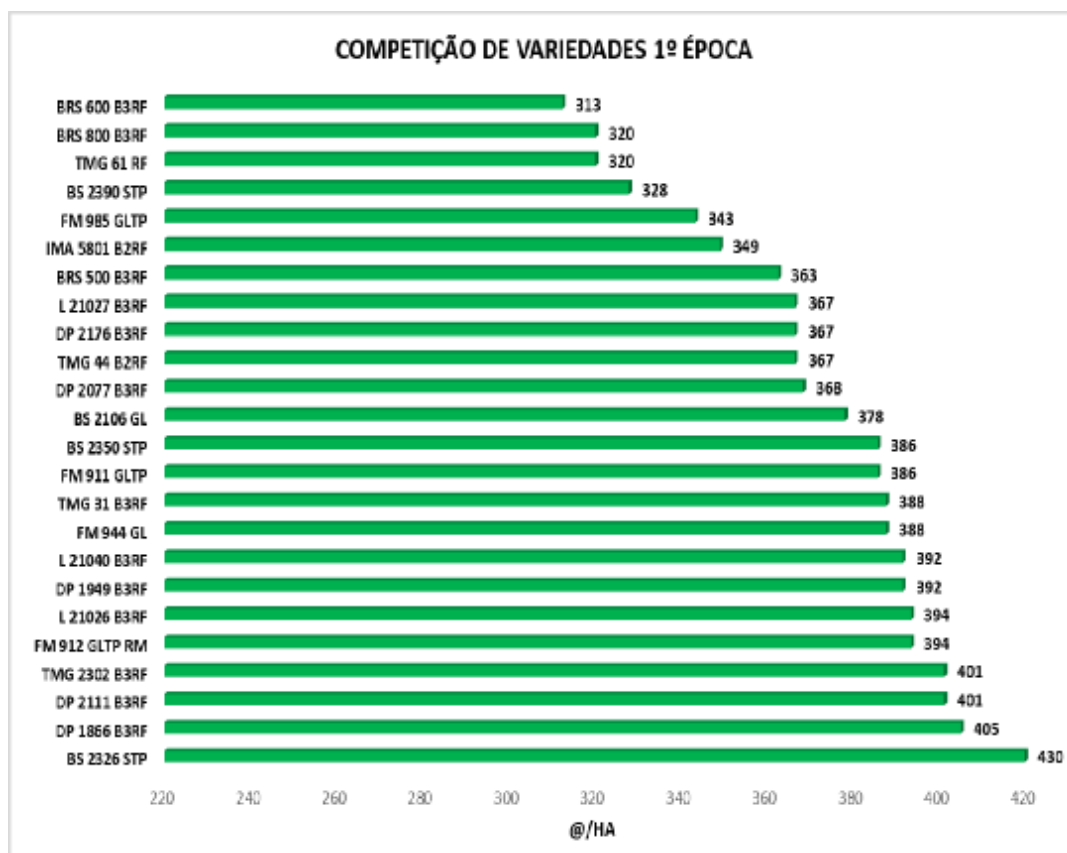
4.1 COMPETIÇÃO DE VARIEDADES - 1ª ÉPOCA

A partir do ensaio conduzido na primeira época de plantio, foi possível gerar o gráfico de produtividade (Figura 3) que evidencia diferenças substanciais entre as cultivares, com os rendimentos variando de 313 a 430 @/ha⁻¹, o que representa uma amplitude produtiva de 117 arrobas por hectare, ou aproximadamente 37,4% de variação relativa. Tais discrepâncias reforçam a importância da escolha do material genético para maximização da produtividade sob condições favoráveis.

A cultivar BS 2256 STP destacou-se com a maior produtividade (430 @/ha⁻¹), seguida por DP 1866 B3RF (405 @/ha), DP 2111 B3RF (401 @/ha⁻¹) e TMG 2302 B3RF (401 @/ha). Esses materiais demonstraram alto potencial genético de produção e boa adaptação às condições ambientais locais, tornando-se opções promissoras para sistemas agrícolas que buscam elevada rentabilidade com estabilidade agronômica.

Por outro lado, as cultivares BRS 600 B3RF (313 @/ha⁻¹), BRS 800 B3RF (320 @/ha⁻¹) e TMG 61 RF (320 @/ha⁻¹) apresentaram os menores rendimentos, indicando menor adaptabilidade ao ambiente local ou menor resposta ao manejo adotado. É possível que essas cultivares apresentem maior exigência nutricional, menor tolerância a estresses pontuais (climáticos ou bióticos), ou ainda limitações genéticas relacionadas à eficiência fisiológica no enchimento de maçãs.

Figura 3 - Produtividade de cultivares em uma competição de variedades (1ª época). Os valores representam a produtividade em sacas por hectare ($@/ha^{-1}$) para cada cultivar. As cultivares estão listadas à esquerda, ordenadas por desempenho crescente, e os valores numéricos à direita indicam a produtividade específica



FONTE: O autor (2025).

A análise permite ainda identificar grupos intermediários, como FM 985 GLTP ($343 @/ha^{-1}$), IMA 5801 B2RF ($349 @/ha^{-1}$) e BRS 500 B3RF ($363 @/ha^{-1}$), que, embora não tenham apresentado o melhor desempenho, demonstraram produtividade consistente. Esses genótipos podem representar alternativas viáveis para diversificação genética em lavouras, especialmente quando associados a estratégias de manejo específicas.

Além da produtividade absoluta, é importante considerar a estabilidade fenotípica das cultivares entre épocas e ambientes, bem como sua resposta a condições subótimas. A expressiva variação observada neste ensaio evidencia a necessidade de ensaios locais e atualizados, visto que a interação genótipo $\times$ ambiente é fator determinante no sucesso do cultivo (Ali et al., 2018; Sadabadi et al., 2018).

Por fim, a forte correlação entre os materiais de melhor desempenho nesta época e os que também apresentaram bons resultados na segunda época de plantio sugere que algumas cultivares, como DP 2111 B3RF e FM 911 GLTP, possuem alto desempenho associado à estabilidade, representando opções estratégicas para produtores que visam ampliar a janela de plantio com segurança agrônômica.

4.2 COMPETIÇÃO DE VARIEDADES - 2ª ÉPOCA

O segundo ensaio de competição de cultivares representa cenários operacionais comuns em propriedades que estendem o calendário agrícola além da janela ideal, expondo as plantas a possíveis limitações climáticas, fotoperiódicas e fitossanitárias. Todas as cultivares foram submetidas a um manejo técnico padronizado (fungicida, herbicida e inseticida), permitindo que o desempenho observado estivesse associado majoritariamente ao potencial genético de cada variedade. A Figura 4 revelou diferenças expressivas entre os materiais avaliados, com valores variando de 282 a 419 @/ha⁻¹, o que corresponde a uma amplitude produtiva de 137 arrobas por hectare.

Figura 4 - Desempenho de cultivares na competição de variedades (2ª época)



FONTE: O autor (2025).

A cultivar DP 1949 B3RF apresentou o maior rendimento, com 419 @/ha⁻¹, seguida por TMG 2304 B3XF (410 @/ha⁻¹), FM 911 GLTP (404 @/ha⁻¹) e DP 2111 B3RF (402 @/ha⁻¹). Essas cultivares demonstraram elevada estabilidade e adaptação mesmo em condições de plantio tardio, o que as torna boas candidatas para uso em sistemas de produção que operam com janelas agrícolas estendidas.

Em contrapartida, as cultivares BRS 600 B3RF (282 @/ha⁻¹), TMG 61 RF (314 @/ha⁻¹) e DP 1866 B3RF (325 @/ha⁻¹) apresentaram os menores rendimentos, indicando possível sensibilidade ao estresse climático associado ao final do verão, como redução do fotoperíodo, temperaturas elevadas durante a noite e déficit hídrico nos estágios reprodutivos.

A análise dos dados demonstra que a variação entre cultivares foi substancial, sugerindo uma forte interação genótipo × ambiente, típica em sistemas tropicais (Gérardeaux et al., 2018; Mukoyi et al., 2018). Essa variação reforça a importância da seleção criteriosa de cultivares adaptadas não apenas à região, mas também à época de plantio.

Além disso, a diferença entre o maior e o menor rendimento representa uma variação relativa de aproximadamente 48,6%, o que é agronomicamente significativo e economicamente impactante. Tais informações são fundamentais para orientar o planejamento agrícola, sobretudo em propriedades que lidam com incertezas climáticas ou operam em escalas que requerem escalonamento do plantio.

4.3 EFEITO DE DIFERENTES DOSES DE GLIFOSATO NA CULTURA DO ALGODOEIRO

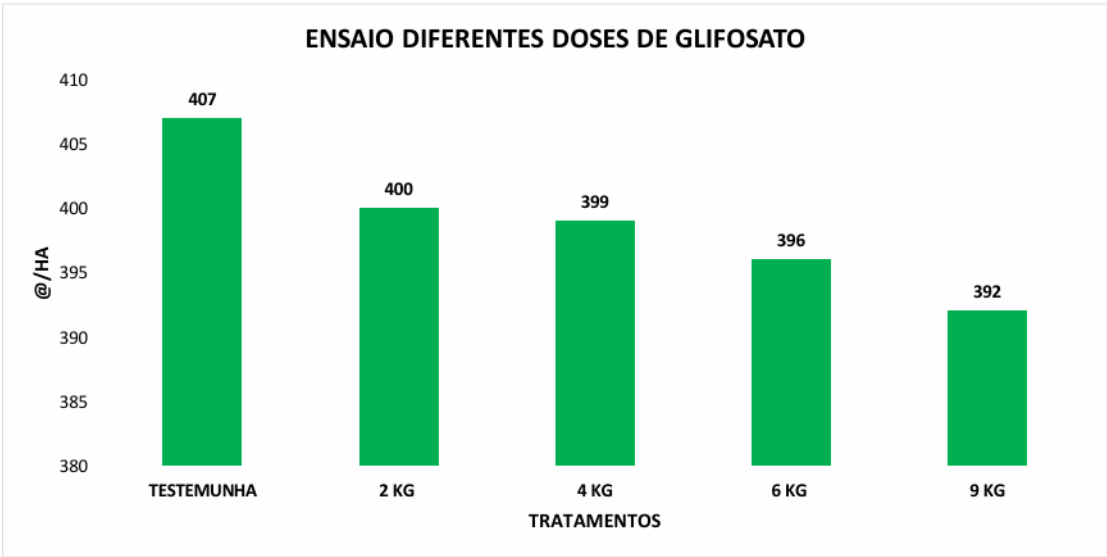
A partir da aplicação do herbicida glifosato em diferentes doses e frequências, foi possível avaliar seu impacto direto sobre a produtividade do algodoeiro cultivar FM 911 GLTP. A resposta produtiva observada permitiu inferir os efeitos cumulativos do herbicida, mesmo em uma cultivar geneticamente modificada para tolerância ao glifosato. A TABELA 1 apresenta os valores médios de produtividade obtidos em função dos diferentes tratamentos aplicados, destacando a influência negativa da elevação das doses e do número de aplicações sobre o rendimento final da cultura.

TABELA 1 - EFEITO DE DIFERENTES DOSES E NÚMERO DE APLICAÇÕES DE GLIFOSATO NA PRODUTIVIDADE.

Tratamento	Número de Aplicações	Dose por Aplicação (kg/ha ⁻¹)	Dose Total (kg/ha ⁻¹)	Produtividade (@/ha ⁻¹)
T1	0	0	0 (Testemunha)	407
T2	1	2	2	400
T3	2	2	4	399
T4	3	2	6	396
T5	3	3	9	392

FONTE: O autor (2025).

Figura 5 - Comparação da produtividade em resposta a doses crescentes de glifosato (kg/ha)



FONTE: O autor (2025).

Os resultados demonstraram uma tendência decrescente na produtividade com o aumento da dose acumulada de glifosato, evidenciando que mesmo em cultivares geneticamente modificadas para resistência ao herbicida, há um limiar de tolerância fisiológica que, quando ultrapassado, compromete o desempenho agrônômico da cultura.

O tratamento controle (T1), que não recebeu glifosato, obteve a maior produtividade, com 407 @/ha⁻¹, servindo como parâmetro para avaliar os efeitos fitotóxicos relativos dos demais tratamentos. A aplicação única de 2 kg/ha⁻¹ (T2) apresentou leve redução, com 400 @/ha⁻¹, indicando que a planta tolerou relativamente bem a aplicação isolada nessa dosagem. No entanto, à medida que o número de aplicações aumentou, mesmo mantendo a dose individual de 2 kg/ha, observou-se queda progressiva na produtividade: 399 @/ha⁻¹ (T3), 396 @/ha⁻¹ (T4) e 392 @/ha⁻¹ (T5 com dose individual de 3 kg/ha).

Essa redução, embora não abrupta, representa uma perda cumulativa de produtividade de 3,7% entre o tratamento testemunha e o tratamento com maior dose (9 kg/ha⁻¹). Em termos agronômicos, essa perda é relevante, especialmente quando considerada em larga escala comercial, podendo comprometer a rentabilidade do sistema produtivo.

Os resultados sugerem que a tolerância da cultivar FM 911 GLTP ao glifosato é relativa e que aplicações frequentes ou em doses elevadas impactam negativamente processos fisiológicos fundamentais. Estudos prévios apontam que o glifosato, mesmo em variedades resistentes, pode interferir no metabolismo secundário, síntese de aminoácidos aromáticos, atividade enzimática, crescimento radicular e eficiência fotossintética (Martinez et al., 2018).

Além disso, o intervalo curto entre as aplicações (sete dias) pode ter intensificado os efeitos cumulativos, não oferecendo tempo suficiente para recuperação fisiológica entre uma exposição e outra. Esses dados reforçam a necessidade de estratégias de manejo mais sustentáveis para o uso do glifosato, priorizando o uso consciente e tecnicamente embasado, respeitando limites de dose e espaçamento adequado entre aplicações, de modo a preservar o potencial produtivo da cultura e evitar impactos econômicos e ambientais.

4.4 FONTES DE ENXOFRE NA ADUBAÇÃO DE COBERTURA NO SISTEMA SOJA-ALGODÃO

No presente ensaio a variedade utilizada foi FM 911 GLTP, com data de plantio em 15 de janeiro de 2024. Foram testados quatro tratamentos, envolvendo o uso de SULFURGRAN, SAM (sulfato de amônio) ou a combinação de ambos, aplicados de forma diferenciada na soja e no algodão. A análise de produtividade foi

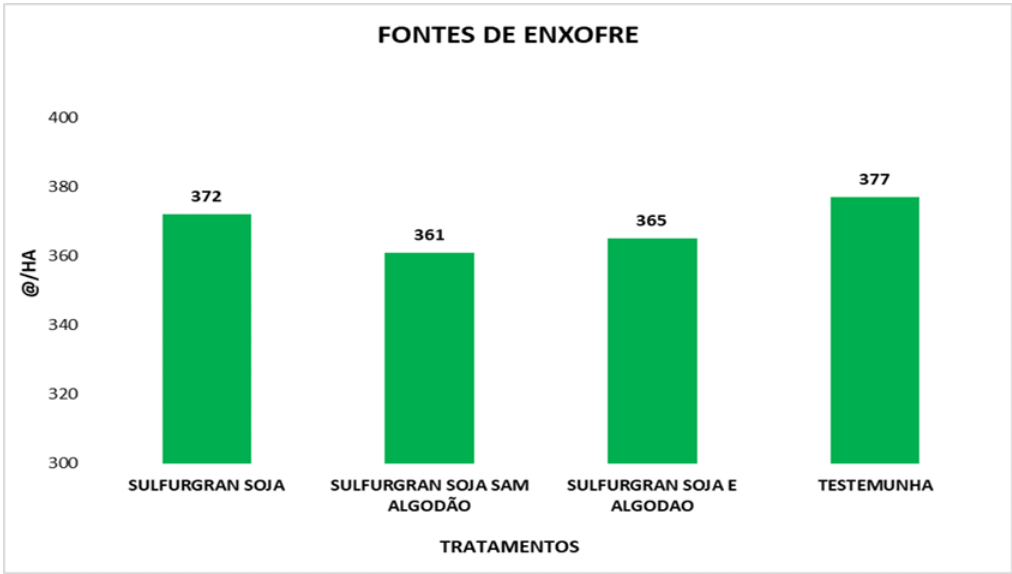
conduzida com base na produção de algodão em arrobas por hectare (@ ha⁻¹). A TABELA 2 resume os tratamentos e seus respectivos resultados produtivos.

TABELA 2 - EFEITO DE DIFERENTES FONTES E MANEJO DE ENXOFRE (S) NA PRODUTIVIDADE NO SISTEMA SOJA-ALGODÃO

Tratamento	Descrição do Uso de Enxofre	Produtividade (@ ha ⁻¹)
T1	SULFURGRAN apenas na soja	372
T2	SULFURGRAN na soja + SAM no algodão	361
T3	SULFURGRAN na soja e algodão	365
T4	Testemunha (sem adição de S)	377

FONTE: O autor (2025).

Figura 6 - Comparação da produtividade em diferentes tratamentos com fontes de enxofre no sistema soja-algodão



FONTE: O autor (2025).

A Figura 6 mostra que testemunha sem adição de enxofre obteve a maior produtividade, com 377 @ ha⁻¹, superando todos os tratamentos que incluíram fontes sulfatadas. O menor desempenho foi registrado no Tratamento 02, com 361 @ ha⁻¹, onde houve aplicação de SAM no algodão, o que pode ter contribuído para desbalanceamento nutricional, especialmente devido à elevada oferta de nitrogênio amoniacal associada ao produto, que pode acidificar a rizosfera e afetar a absorção de outros nutrientes essenciais (Shilpha et al., 2023).

O Tratamento 01, que utilizou SULFURGRAN apenas na soja, obteve 372 @/ha, valor intermediário e ligeiramente inferior ao da testemunha. Já o Tratamento 03, com aplicação de SULFURGRAN tanto na soja quanto no algodão, resultou em 365 @/ha, sugerindo que a adição dupla de S não trouxe incremento produtivo proporcional. Isso pode indicar que a exigência da cultura em enxofre foi suficientemente suprida pelas fontes presentes no solo e nos demais fertilizantes utilizados, ou que houve antagonismo na absorção de S em excesso, interferindo em mecanismos fisiológicos da planta, como a síntese de aminoácidos sulfurados.

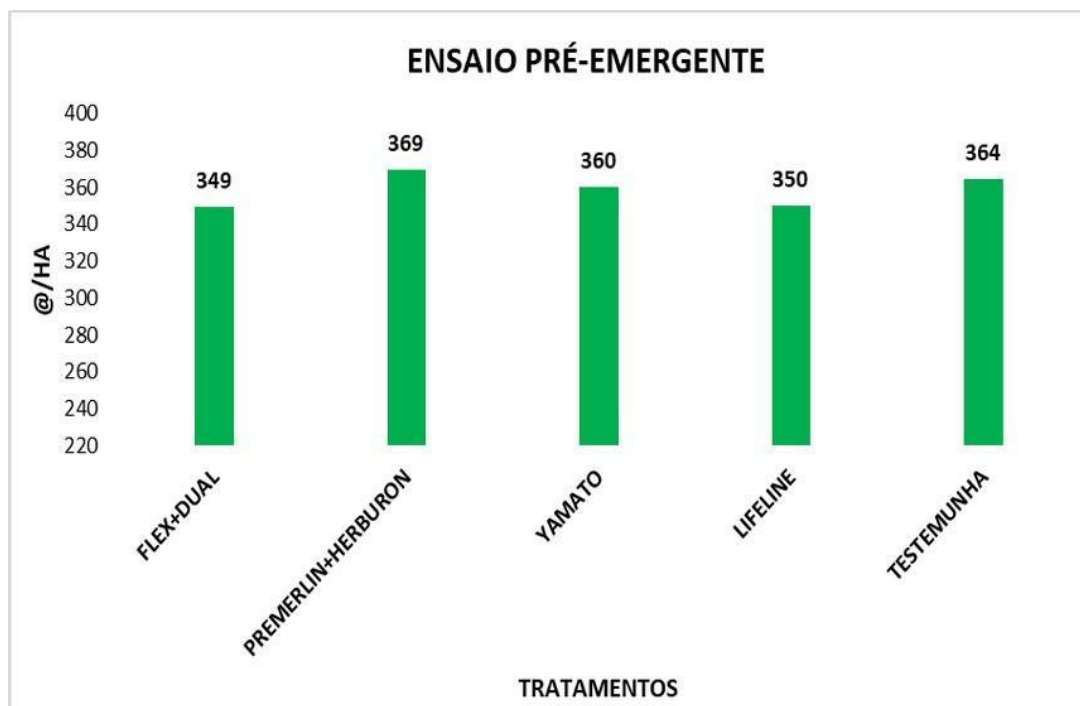
Esses resultados são consistentes com a literatura, que destaca que a resposta da cultura ao enxofre está fortemente condicionada à disponibilidade inicial no solo, à textura, à matéria orgânica e às perdas por lixiviação, especialmente em solos arenosos ou sob alta pluviosidade. Além disso, a própria interação entre enxofre e nitrogênio, quando não balanceada, pode afetar negativamente o metabolismo da planta (Pias et al., 2019; Oksana et al., 2024).

De forma geral, os dados apontam que a adubação com enxofre, nas condições específicas deste experimento, não promoveu ganho produtivo significativo, e que o uso isolado ou combinado de SULFURGRAN e SAM deve ser cuidadosamente avaliado, considerando o diagnóstico da fertilidade do solo, o histórico da área e o equilíbrio entre nutrientes.

4.5 MANEJO DE PRÉ-EMERGENTES NO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS

No ensaio, a cultivar utilizada foi FM 911 GLTP, semeada em 15 de janeiro de 2024, sob condições padronizadas de manejo. Foram testados cinco tratamentos, sendo quatro com diferentes combinações de herbicidas e um tratamento controle (testemunha) sem capina. A Figura 7 demonstra a produtividade da cultura para cada tratamento e a TABELA 3 sintetiza os resultados.

Figura 7 - Comparação da produtividade de algodoeiro em diferentes tratamentos com herbicidas pré-emergentes



FONTE: O autor (2025).

TABELA 3 - EFICÁCIA DE HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES NO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS, COM DOSES APLICADAS E RESULTADOS DE PRODUTIVIDADE DO ALGODOEIRO.

Tratamento	Produtos Aplicados	Dose (L ou kg ha ⁻¹)	Produtividade (@ ha ⁻¹)
T1	Flex + Dual Gold	1,5 + 1,2	349
T2	Premierlin + Herburon	3 + 1	369
T3	Yamato	0,3	360
T4	Lifeline	3	350
T5	Testemunha (sem capina)	—	364

FONTE: O autor (2025).

Dentre os tratamentos testados, o Tratamento 2 (Premerlin + Herburon) apresentou a maior produtividade, com 369 @/ha⁻¹, seguido pela testemunha sem capina (364 @/ha) e pelo Tratamento 3 (Yamato) com 360 @/ha⁻¹. Os resultados indicam que a combinação de herbicidas residuais de diferentes mecanismos de ação pode ter proporcionado maior espectro de controle e menor competição inicial com plantas daninhas, favorecendo o desenvolvimento inicial da cultura e refletindo em maior rendimento final.

O Tratamento 1 (Flex + Dual Gold) obteve a menor produtividade (349 @/ha⁻¹), mesmo com o uso de dois produtos em sequência. É importante destacar que, segundo a observação experimental, o Dual Gold foi aplicado em pós-emergência no estágio VC, o que pode ter comprometido sua eficácia residual e seletividade. Isso pode ter ocasionado fitotoxicidade em plântulas jovens ou controle tardio de infestantes, resultando em competição indesejada nas fases iniciais do desenvolvimento da cultura, o que justifica o desempenho inferior.

Contrariando nossa hipótese inicial, o tratamento testemunha sem capina (T5) apresentou produtividade superior a três dos quatro tratamentos herbicidas. Isso pode indicar que, nas condições da área experimental, a pressão de plantas daninhas foi baixa ou pouco agressiva, e que a ausência de competição significativa permitiu que a cultura se desenvolvesse normalmente mesmo sem o uso de herbicidas. Essa hipótese pode ser reforçada por fatores como: baixa densidade de infestação, ausência de espécies agressivas, ou cobertura do solo com resíduos culturais anteriores.

Ainda assim, o uso de herbicidas com bom perfil de seletividade e controle residual, como no caso do Tratamento 2, mostra-se promissor. A adoção de programas de manejo integrado de plantas daninhas (MIPD), incluindo rotação de herbicidas e práticas culturais, é essencial para garantir a eficiência agrônômica e sustentabilidade a longo prazo, evitando o surgimento de resistência e fitotoxicidade cumulativa (Scavo & Mauromicale, 2020; Storkey et al., 2021; Coleman et al., 2024).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cultura do algodoeiro, por sua complexidade fisiológica e elevado valor econômico, exige um manejo agrônomo altamente tecnificado, baseado em decisões fundamentadas em evidências científicas e adequadas às condições edafoclimáticas e operacionais de cada região produtora. Os resultados obtidos neste estudo evidenciam que o desempenho da cultura é fortemente influenciado pela interação entre fatores genéticos, ambientais, nutricionais e fitossanitários, o que reforça a necessidade de abordagens integradas e adaptativas para maximizar a produtividade de forma sustentável.

A avaliação de diferentes cultivares de algodão em duas épocas de plantio distintas demonstrou que a escolha do material genético e o período de semeadura são fatores determinantes para o rendimento da lavoura. Cultivares com maior estabilidade fenotípica, como FM 911 GLTP e DP 2111 B3RF, apresentaram desempenho consistente em ambas as épocas, evidenciando seu potencial para uso em sistemas com escalonamento de plantio ou sob risco climático. Por outro lado, o plantio em datas mais tardias, fora da janela ideal, resultou em produtividades inferiores, demonstrando a sensibilidade da cultura ao ambiente, especialmente em relação ao fotoperíodo, à temperatura e à disponibilidade hídrica nas fases reprodutivas.

Ensaio com glifosato mostraram que, mesmo em cultivares transgênicas tolerantes, o uso excessivo compromete a produtividade, afetando o metabolismo e o desenvolvimento da planta. Isso reforça a necessidade de usar o glifosato de forma racional e técnica, respeitando os limites fisiológicos da cultura.

À nutrição mineral, os resultados da aplicação de diferentes fontes de enxofre indicaram que a resposta da cultura está condicionada à disponibilidade inicial do nutriente no solo, à fonte utilizada e à interação com outros elementos, como o nitrogênio. A ausência de ganho produtivo significativo nos tratamentos com suplementação de enxofre sugere que, nas condições do

experimento, o solo e os fertilizantes convencionais já atendiam à demanda da cultura, ou que o fornecimento excessivo e desbalanceado provocou antagonismos nutricionais. Isso destaca a necessidade de diagnósticos detalhados e localizados antes da adoção de adubações adicionais.

A análise das estratégias de controle químico com herbicidas pré-emergentes revelou que, apesar de alguns tratamentos controlarem eficientemente as plantas daninhas e promoverem boa produtividade, em certas condições, a ausência de capina resultou em rendimento similar ou superior, possivelmente devido à baixa infestação inicial ou menor pressão de matocompetição. No entanto, em sistemas com alta infestação, o uso de pré-emergentes com diferentes mecanismos de ação é crucial para o manejo integrado de plantas daninhas, promovendo a sustentabilidade e mitigando a resistência ao glifosato.

Dessa forma, o presente estudo contribui com informações relevantes para o aprimoramento do manejo da cultura do algodoeiro em sistemas de produção tecnificados. Os dados aqui apresentados reforçam a importância da escolha criteriosa da cultivar, da adequada definição da época de plantio, do uso consciente de herbicidas e da adoção de práticas nutricionais baseadas em critérios técnicos e agronômicos. A integração dessas estratégias é fundamental para promover ganhos de produtividade, redução de custos operacionais e sustentabilidade na cotonicultura brasileira.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nos resultados obtidos e nas limitações observadas ao longo da condução deste trabalho, recomenda-se que estudos futuros explorem aspectos complementares do manejo da cultura do algodoeiro, especialmente considerando a crescente demanda por eficiência produtiva e sustentabilidade agrícola.

No que se refere à avaliação de cultivares, sugere-se ampliar os ensaios de competição de variedades para outras regiões do Cerrado brasileiro, incluindo diferentes altitudes, regimes hídricos e condições de fertilidade do solo, a fim de aprofundar a análise da interação genótipo × ambiente. A inclusão de variáveis como

qualidade da fibra, retenção de estruturas reprodutivas e tolerância a estresses bióticos e abióticos pode enriquecer as recomendações de cultivares para uso comercial.

Quanto ao manejo químico com glifosato, seria relevante investigar os efeitos de diferentes épocas de aplicação, misturas em tanque com outros produtos, formas de formulação (sal de potássio, ácido livre, entre outras), bem como os impactos fisiológicos e bioquímicos sobre o algodoeiro tolerante. A realização de análises mais aprofundadas, como atividade enzimática antioxidante, concentração de aminoácidos livres e expressão gênica, poderia esclarecer os mecanismos envolvidos nas respostas subletais observadas em doses elevadas.

No tocante à adubação sulfurada, futuras pesquisas podem avaliar doses crescentes de enxofre, combinadas a diferentes fontes (solúveis e de liberação lenta), em função da dinâmica de absorção ao longo do ciclo da cultura. Também se recomenda estudar a distribuição do S nos tecidos vegetais, a eficiência de uso do nutriente e a relação S/N no metabolismo da planta, de modo a orientar manejos mais precisos e economicamente viáveis.

Para o controle de plantas daninhas, sugere-se investigar o posicionamento de herbicidas pré-emergentes em diferentes condições de infestação e tipos de solo, bem como o impacto residual desses produtos sobre culturas subsequentes no sistema de rotação. Ensaios de longo prazo que combinem estratégias químicas, culturais e mecânicas seriam úteis para fortalecer a base de conhecimento sobre manejo integrado de plantas daninhas (MIPD) no algodoeiro.

Além disso, recomenda-se que futuros trabalhos avaliem o custo-benefício das diferentes estratégias de manejo adotadas, integrando variáveis agronômicas, econômicas e ambientais. A adoção de ferramentas como análise multicritério, modelagem agronômica e agricultura digital pode contribuir para a tomada de decisões mais assertivas, adaptadas a realidades locais e aos desafios da produção moderna.

REFERÊNCIAS

- Ahmed, N., Ali, M. A., Danish, S., Chaudhry, U. K., Hussain, S., Hassan, W., Ahmad, F., & Ali, N. (2020). Role of Macronutrients in Cotton Production. In *Cotton Production and Uses* (pp. 81-104). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1472-2_6
- Ali, I., Khan, N. U., Rahman, M. ur, Gul, R., Bibi, Z., Gul, S., Ahmed, S., Ali, S., Ali, N., Afridi, K., & Haq, H. A. (2018). Genotype by environment and biplot analyses for yield and fiber traits in upland cotton. *International Journal of Agriculture and Biology*, 20(9), 1979-1990. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0720>
- Ariel, B., & Farrington, D. P. (2010). Randomized Block Designs. In *Handbook of Quantitative Criminology* (pp. 437-454). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-0-387-77650-7_21
- Bairwa, B., Katkar, R. N., Bhende, V., Gawande, S., & Bhattacharjee, S. (2020). Influence of Sulphur, Zinc and Organic Inorganic Assorted Customized Fertilizer on Yield and Quality of Cotton under Rainfed Vertisols. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(8), 3053-3062. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.908.345>
- Bajwa, K. S., Ali, M. U., Rao, A. Q., Kiani, S., Ahmad, F., Bakhsh, A., Noor, S., Abbas, Z., Ali, S., & Ali, G. M. (2024). From genes to fields: Environmental compatibility of herbicide tolerant transgenic cotton. *Industrial Crops and Products*, 209, 117903. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117903>
- Barros, M. A. L., Silva, C. R. C. Da, Lima, L. M. De, Farias, F. J. C., Ramos, G. A., & Santos, R. C. Dos. (2022). A Review on Evolution of Cotton in Brazil: GM, White, and Colored Cultivars. *Journal of Natural Fibers*, 19(1), 209-221. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1738306>
- Boopathi, N. M., Sathish, S., Kavitha, P., Dachinamoorthy, P., & Ravikesavan, R. (2015). Molecular Breeding for Genetic Improvement of Cotton (*Gossypium* spp.). In *Advances in Plant Breeding Strategies: Breeding, Biotechnology and Molecular Tools* (pp. 613-645). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22521-0_21
- Borém, A., Freire, E. C., Penna, J. C. V., & Barroso, P. A. V. (2003). Considerations about cotton gene escape in Brazil: a review. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 3, 315-332.
- BOSCHIERO, B.N. 5 maiores produtores de algodão do mundo: Brasil está entre eles! 2024. Blog Agroadvance. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-5-maiores-produtores-de-algodao-do-mundo/>. Acesso: 09 de junho de 2025.

Cerdeira, A. L., & Duke, S. O. (2006). The Current Status and Environmental Impacts of Glyphosate-Resistant Crops. *Journal of Environmental Quality*, 35(5), 1633-1658. <https://doi.org/10.2134/jeq2005.0378>

Coleman, M. J., Kristiansen, P., Sindel, B. M., & Fyfe, C. (2024). Imperatives for integrated weed management in vegetable production: Evaluating research and adoption. *Weed Biology and Management*, 24(1), 3-14. <https://doi.org/10.1111/wbm.12285>

Conaty, W. C., & Constable, G. A. (2020). Factors responsible for yield improvement in new *Gossypium hirsutum* L. cotton cultivars. *Field Crops Research*, 250, 107780. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107780>

Constable, G. A., & Bange, M. P. (2015). The yield potential of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Field Crops Research*, 182, 98-106. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.07.017>

Constable, G., Llewellyn, D., Walford, S. A., & Clement, J. D. (2015). *Cotton Breeding for Fiber Quality Improvement* (pp. 191-232). https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1447-0_10

García-Ruiz, E., Loureiro, Í., Farinós, G. P., Gómez, P., Gutiérrez, E., Sánchez, F. J., Escorial, M. C., Ortego, F., Chueca, M. C., & Castañera, P. (2018). Weeds and ground-dwelling predators' response to two different weed management systems in glyphosate-tolerant cotton: A farm-scale study. *PLOS ONE*, 13(1), e0191408. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191408>

Gérardeaux, E., Loison, R., Palaï, O., & Sultan, B. (2018). Adaptation strategies to climate change using cotton (*Gossypium hirsutum* L.) ideotypes in rainfed tropical cropping systems in Sub-Saharan Africa. A modeling approach. *Field Crops Research*, 226, 38-47. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.07.007>

Hoffmann, L. V., Kresic, I. B., Paz, J. G., Bela, D. A., Tcach, N. E., Lamas, F. M., & Sofiatti, V. (2019). Cotton Production in Brazil and Other South American Countries. In *Cotton Production* (pp. 277-295). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119385523.ch13>

Ibrahim, N., & Abdullahi, A. (2023). Análise de Variância (ANOVA) em Blocos Casualizados (RBD) para Testar a Variabilidade de Três Tipos Diferentes de Fertilizantes (NPK, UREIA e SSP) na Produção de Milheto. *Revista Africana de Ciências Agrícolas e Pesquisa Alimentar*, 1(9), 1-10.

Iqbal, N., Manalil, S., Chauhan, B. S., & Adkins, S. W. (2019). Glyphosate-tolerant cotton in Australia: successes and failures. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65(11), 1536-1553. <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1566720>

Karthik, K., Nandiganti, M., Thangaraj, A., Singh, S., Mishra, P., Rathinam, M., Sharma, M., Singh, N. K., Dash, P. K., & Sreevathsa, R. (2020). Transgenic Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) to Combat Weed Vagaries: Utility of an Apical Meristem-Targeted in planta Transformation Strategy to Introgress a Modified CP4-EPSPS

Gene for Glyphosate Tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 11.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00768>

Kelly, C. M., Osorio-Marin, J., Kothari, N., Hague, S., & Dever, J. K. (2019). Genetic improvement in cotton fiber elongation can impact yarn quality. *Industrial Crops and Products*, 129, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.11.066>

Khamare, Y., Chen, J., & Marble, S. C. (2022). Allelopathy and its application as a weed management tool: A review. *Frontiers in Plant Science*, 13.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1034649>

Khan, B. A., Nadeem, M. A., Nawaz, H., Amin, M. M., Abbasi, G. H., Nadeem, M., Ali, M., Ameen, M., Javaid, M. M., Maqbool, R., Ikram, M., & Ayub, M. A. (2023). *Pesticides: Impacts on Agriculture Productivity, Environment, and Management Strategies* (pp. 109-134). https://doi.org/10.1007/978-3-031-22269-6_5

Malik, W., Ashraf, J., Iqbal, M. Z., Ali Khan, A., Qayyum, A., Ali Abid, M., Noor, E., Qadir Ahmad, M., & Hasan Abbasi, G. (2014). Molecular Markers and Cotton Genetic Improvement: Current Status and Future Prospects. *The Scientific World Journal*, 2014, 1-15. <https://doi.org/10.1155/2014/607091>

Martinez, D. A., Loening, U. E., & Graham, M. C. (2018). Impacts of glyphosate-based herbicides on disease resistance and health of crops: a review. *Environmental Sciences Europe*, 30(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s12302-018-0131-7>

Mei, L., Feng, C., Zhao, T., Li, C., Yan, S., Li, C., Feng, J., Zhang, F., Zhang, Y., Xiao, Q., He, Q., Chen, J., & Zhu, S. (2019). Characterizations of male sterility in a glyphosate-tolerant upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) induced by glyphosate and its assessments on safety utilization. *Industrial Crops and Products*, 134, 318-327. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.03.072>

Mukoyi, F., Gasura, E., & Makunde, G. S. (2018). Implications of correlations and genotype by environment interactions among cotton traits. *African Crop Science Journal*, 26(2), 219. <https://doi.org/10.4314/acsj.v26i2.5>

Nitish Ranjan, P., Jeet Ram, C., Anurag, T., Nilesh, J., Birendra Kumar, P., Suresh, Y., Santosh, K., & Rahul, K. (2020). Breeding for herbicide tolerance in crops: a review. *Research Journal of Biotechnology*, 15(4).
<http://www.fao.org/docrep/006/y5031e/y5031e0i.htm>

Oksana, Hermansah, Agustian, & Syafrimen Yasin. (2024). Review - Soil Sulfur Dynamics and Their Role in Plant Growth and Development. *JURNAL AGRONOMI TANAMAN TROPIKA (JUATIKA)*, 6(3). <https://doi.org/10.36378/juatika.v6i3.3823>

Oliveira Neto, A. M., Constantin J., Oliveira JR., R. S., Barroso, A. L. L., Braz, G. B. P., Guerra, N., & Gheno, E. A. (2015). SELECTIVITY OF FOMESAFEN TO COTTON. *Planta Daninha*, 33(4), 759-770. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582015000400014>

Otto, R., Ferraz-Almeida, R., Soares, J. R., Carneiro, P. V., Coser, T. R., Horowitz, N., Soares, L. C., Novaes, G. B., Vargas, V. P., & Holzschuh, M. J. (2023). Nitrogen fertilizer management on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) yield and quality in two tropical soils. *European Journal of Agronomy*, 142, 126672.

<https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126672>

Pias, O. H. de C., Tiecher, T., Cherubin, M. R., Mazurana, M., & Bayer, C. (2019). Crop Yield Responses to Sulfur Fertilization in Brazilian No-Till Soils: a Systematic Review. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 43.

<https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20180078>

Pline-Srnic, W. (2006). Physiological Mechanisms of Glyphosate Resistance. *Weed Technology*, 20(2), 290-300. <https://doi.org/10.1614/WT-04-131R.1>

Ramalho, F. S. (1994). Cotton Pest Management: Part 4. A Brazilian Perspective. *Annual Review of Entomology*, 39(1), 563-578.

<https://doi.org/10.1146/annurev.en.39.010194.003023>

Rao, A. Q., Bajwa, K. S., Ali, M. A., Bakhsh, A., Iqbal, A., Latif, A., Husnain, T., Nasir, I. A., & Shahid, A. A. (2023). EVALUATION OF WEED CONTROL EFFICIENCY OF HERBICIDE RESISTANT TRANSGENIC COTTON. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 1, 75-84. <https://doi.org/10.36899/JAPS.2023.1.0596>

Rathore, K. S., Campbell, L. M., Sherwood, S., & Nunes, E. (2015). *Cotton* (*Gossypium hirsutum* L.) (pp. 11-23). https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1658-0_2

Rathore, K. S., Sunilkumar, G., & Campbell, L. M. (2006). *Cotton* (*Gossypium hirsutum* L.). In *Agrobacterium Protocols* (pp. 267-280). Humana Press.

<https://doi.org/10.1385/1-59745-130-4:267>

Rauf, S., Shehzad, M., Al-Khayri, J. M., Imran, H. M., & Noorka, I. R. (2019). *Cotton* (*Gossypium hirsutum* L.) Breeding Strategies. In *Advances in Plant Breeding Strategies: Industrial and Food Crops* (pp. 29-59). Springer International Publishing.

https://doi.org/10.1007/978-3-030-23265-8_2

Richmond, T. R. (1943). Competição em testes de variedades de algodão. *Journal of the American Society of Agronomy*, 35.

Sadabadi, M., Ranjbar, G., Zangi, M., Tabar, S., & Zarini, H. (2018). Analysis of stability and adaptation of cotton genotypes using gge biplot method. *Trakia Journal of Science*, 16(1), 51-61. <https://doi.org/10.15547/tjs.2018.01.009>

Scavo, A., & Mauromicale, G. (2020). Integrated Weed Management in Herbaceous Field Crops. *Agronomy*, 10(4), 466. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040466>

Sharma, R. K., Cox, M. S., Oglesby, C., & Dhillon, J. S. (2024). Revisiting the role of sulfur in crop production: A narrative review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 15, 101013. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101013>

- Shilpha, J., Song, J., & Jeong, B. R. (2023). Ammonium Phytotoxicity and Tolerance: An Insight into Ammonium Nutrition to Improve Crop Productivity. *Agronomy*, 13(6), 1487. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061487>
- Storkey, J., Helps, J., Hull, R., Milne, A. E., & Metcalfe, H. (2021). Defining Integrated Weed Management: A Novel Conceptual Framework for Models. *Agronomy*, 11(4), 747. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040747>
- Velmourougane, K., Blaise, D., Manikandan, A., Savitha, S., & Waghmare, V. N. (2021). ENVIRONMENTAL IMPACTS OF HERBICIDE TOLERANT CROPS AND GLYPHOSATE-BASED HERBICIDES - A REVIEW. *Applied Ecology and Environmental Research*, 19(5), 3481-3504. https://doi.org/10.15666/aeer/1905_34813504
- Vieira, J. L. V., Nardi, K. T., Silva, G. R. A., Moreira, L. A., Zavaschi, E., Moura, T. A., & Otto, R. (2018). Nutrient Uptake by High-Yielding Cotton Crop in Brazil. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 42(0). <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170033>
- Xiao, J., & Yin, X. (2019). Nutrient Management in Cotton. In *Cotton Production* (pp. 61-83). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119385523.ch4>
- Yu, J., Yin, X., Raper, T. B., & Jagadamma, S. (2019). Sulfur Fertilization and Sulfur Sufficiency Range for Contemporary Cotton Cultivars with High Yielding Potentials. *International Journal of Plant Production*, 13(4), 369-378. <https://doi.org/10.1007/s42106-019-00061-9>