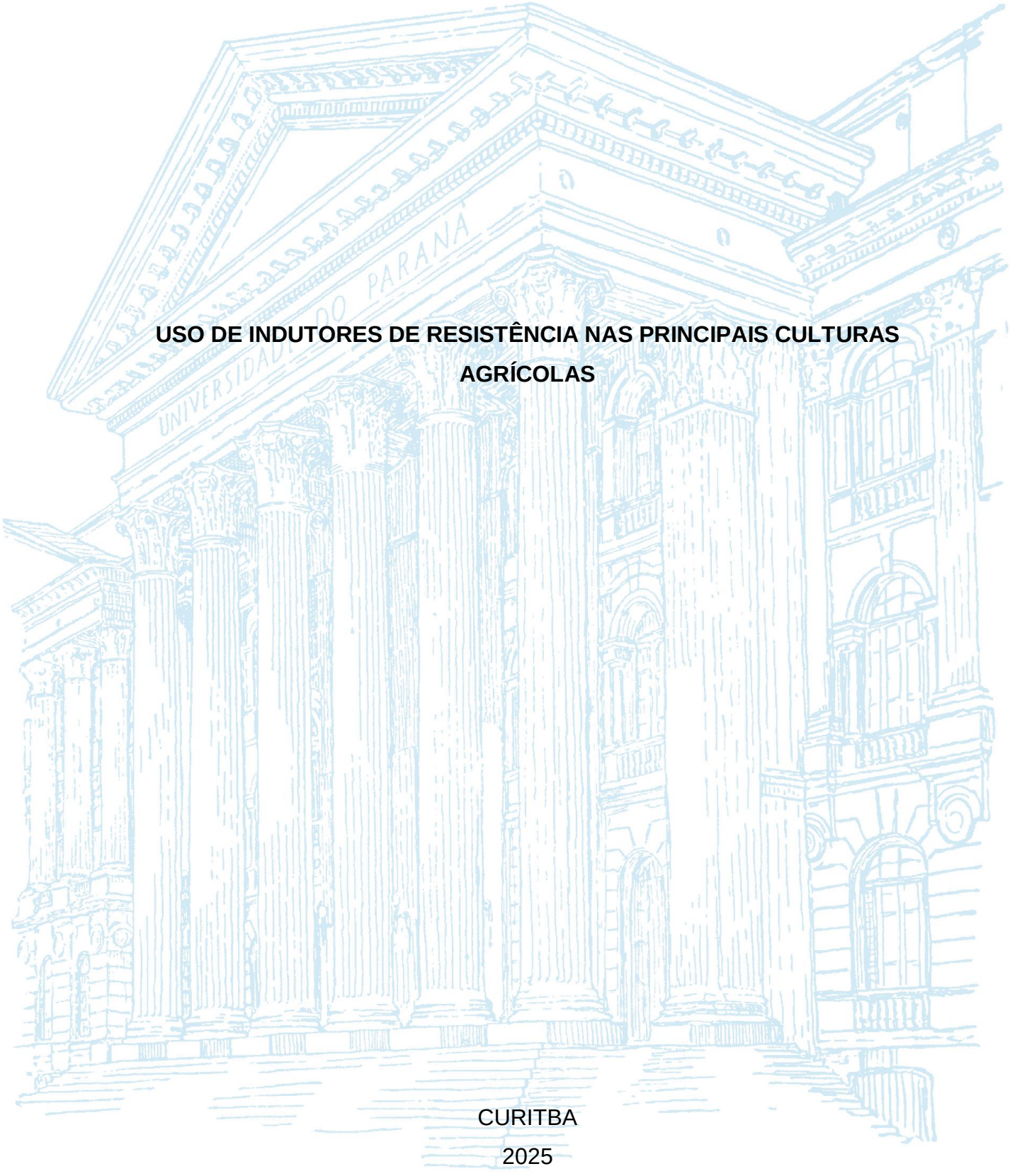
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ÉDILA DE LURDES ALMEIDA



USO DE INDUTORES DE RESISTÊNCIA NAS PRINCIPAIS CULTURAS AGRÍCOLAS

CURITBA

2025

ÉDILA DE LURDES ALMEIDA

USO DE INDUTORES DE RESISTÊNCIA NAS PRINCIPAIS CULTURAS AGRÍCOLAS

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Fitossanidade, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Fitossanidade.

Orientador: Profº. Dr. Joatan Machado da Rosa

CURITIBA

2025

Dedico este trabalho aos meus pais, que me deram a oportunidade de estar onde estou; aos agricultores, especialmente ao meu namorado, que enfrentam os desafios da agricultura no brasil; e aos cientistas que, com suas inovações, impulsionam a agricultura no nosso país.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me conceder força, sabedoria e coragem em cada etapa desta jornada. Agradeço à minha família, pelo amor, apoio e compreensão incondicionais. Ao meu namorado Willian, por estar ao meu lado com carinho, paciência e incentivo mesmo nos momentos mais desafiadores.

Aos meus amigos, com um agradecimento especial à Laiz e à Larissa, que sempre estiveram presentes com palavras de apoio e amizade verdadeira. Aos meus colegas de trabalho, que, de alguma forma, contribuíram para que eu pudesse chegar até aqui — meu muito obrigado.

Ao professor Joatan, pela orientação atenciosa, por ter aceitado caminhar comigo neste projeto e por sempre estar solícito e disposto a ajudar desde o início. E, por fim, à Universidade Federal do Paraná, pela excelência no ensino e pela oportunidade de crescimento acadêmico e profissional.

"A planta sempre está certa. O que pode estar errado é a interpretação humana."
(José Peres Romero e Eurípedes Malavolta)

RESUMO

O manejo integrado de culturas agrícolas enfrenta desafios cada vez mais complexos em razão das constantes ameaças causadas por pragas e doenças. Diante desse cenário, o uso de indutores de resistência surge como uma alternativa viável e promissora para reduzir a dependência de defensivos químicos e promover práticas agrícolas mais sustentáveis. Este estudo teve como objetivo compilar e analisar os avanços mais recentes no uso de indutores de resistência em culturas agrícolas, destacando suas vantagens, limitações e perspectivas de aplicação. A metodologia utilizada consistiu em uma revisão bibliográfica, com levantamento de artigos publicados entre 2016 e 2025, por meio das bases Google Scholar, Scopus e SciELO, com foco em estudos sobre soja, milho, feijão, sorgo e outras culturas tropicais. Os dados analisados consideraram os efeitos de substâncias como fosfitos, ácido salicílico, biofertilizantes, aminoácidos e quelatos de metais na indução de mecanismos naturais de defesa das plantas, bem como seu impacto no desenvolvimento e produtividade vegetal. Os resultados indicam que os indutores de resistência podem ativar rotas metabólicas importantes, como a produção de fitoalexinas e compostos antioxidantes, além de contribuir para a redução da severidade de doenças como a ferrugem asiática e o mofo branco. Estratégias integradas, que combinam indutores com biofungicidas ou práticas agronômicas modernas, mostraram-se particularmente eficazes na melhoria da saúde das plantas e da eficiência produtiva. Conclui-se que o uso de indutores de resistência representa uma ferramenta valiosa para o manejo sustentável da agricultura, com potencial de ampliar a resiliência das lavouras frente a estresses bióticos e abióticos, embora ainda existam desafios relacionados à variabilidade de resposta e aos custos de aplicação. A ampliação de pesquisas e a adaptação tecnológica às condições locais são fundamentais para a consolidação dessa abordagem.

PALAVRAS-CHAVE: INDUTORES DE RESISTÊNCIA, AGRICULTURA SUSTENTÁVEL, SOJA, FITOALEXINAS, MANEJO INTEGRADO**.**

ABSTRACT

The management of integrated agricultural crops is facing increasingly complex challenges due to the constant threats caused by pests and diseases. In this scenario, the use of resistance inducers has emerged as a viable and promising alternative to reduce dependence on chemical pesticides and promote more sustainable agricultural practices. The aim of this study was to compile and analyze the most recent advances in the use of resistance inducers in agricultural crops, highlighting their advantages, limitations and application prospects. The methodology used consisted of a literature review, with a survey of articles published between 2016 and 2025, through Google Scholar, Scopus and SciELO databases, focusing on studies on soybeans, corn, beans, sorghum and other tropical crops. The data analyzed considered the effects of substances such as phosphites, salicylic acid, biofertilizers, amino acids and metal chelates on the induction of natural plant defense mechanisms, as well as their impact on plant performance and productivity. The results indicate that resistance inducers can activate important metabolic pathways, such as the production of phytoalexins and antioxidant compounds, as well as helping to reduce the severity of diseases such as Asian rust and white mold. Integrated strategies that combine inducers with biofungicides or modern agronomic practices have proved particularly effective in improving plant health and production efficiency. It is therefore concluded that the use of resistance inducers represents a valuable tool for the sustainable management of agriculture, with the potential to increase the resilience of crops in the face of biotic and abiotic stresses, although there are still challenges related to the variability of response and application costs. Further research and technological adaptation to local conditions are essential to consolidate this approach.

KEYWORDS: RESISTANCE INDUCERS, SUSTAINABLE AGRICULTURE, SOY, PHYTOALEXINS, INTEGRATED MANAGEMENT.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15
1.1 JUSTIFICATIVA 16
1.2 OBJETIVOS 16
1.2.1 Objetivo geral 16
1.2.2 Objetivos específicos.....17
1.3 METODOLOGIA.....17
1.3.1.1 Seleção de Artigos e Fontes de Dados 17
1.3.1.2 Critérios de Inclusão e Exclusão.....17
1.3.1.3 Análise e Discussão dos Resultados 18
1.3.1.4 Metodologia de Análise.....18
1.3.1.5 Limitações.....18

2 REVISÃO DE LITERATURA 20
2.1 PAPEL DOS MACRONUTRIENTES E MICRONUTRIENTES NA RESISTÊNCIA A DOENÇAS 20
2.1.2 Micronutrientes e a indução de resistência 21
2.2 INDUTORES DE RESISTÊNCIA EM SOJA.....22
2.2.2 Fosfitos e seu papel no controle de doenças 23
2.2.3 Indução de Resistência a Doenças com Silício e Fosfitos 24
2.2.4 Agentes Biológicos e Biofertilizantes.....24
2.2.5 Fungicidas e Integração de Indutores de Resistência.....25
2.2.6 Impactos na Produtividade e Sustentabilidade.....26
2.2.6 Alternativas Naturais para o Controle de Doenças Pós-Colheita 26

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS 28

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....29

1 INTRODUÇÃO

A agricultura mundial enfrenta desafios crescentes para atender à demanda por alimentos, impulsionada pelo aumento populacional e pela necessidade de alimentação animal. Estima-se que, até 2050, a população global alcance 9,7 bilhões de pessoas, exigindo um incremento de 70% na produção de alimentos para evitar uma crise alimentar (FAO, 2023). Além disso, fatores como mudanças climáticas, degradação do solo e perda de biodiversidade ameaçam a produtividade agrícola, tornando essencial a adoção de práticas sustentáveis e inovadoras (IPCC, 2022).

Nesse cenário, o Brasil consolida-se como um dos maiores produtores e exportadores de alimentos do mundo. Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), a safra 2023/2024 alcançou 298,41 milhões de toneladas de grãos, configurando-se como a segunda maior produção já registrada no país (Conab, 2024). A soja mantém-se como o principal produto agrícola brasileiro, com uma estimativa de 149,4 milhões de toneladas, seguida pelo milho, com 124,7 milhões de toneladas. Além dos grãos, o Brasil lidera as exportações globais de carne bovina e de frango, reafirmando sua posição estratégica como um dos principais fornecedores mundiais de proteínas (IBGE, 2024). No entanto, a produção agrícola em regiões tropicais, como a brasileira, enfrenta desafios particulares. As condições climáticas de calor e alta umidade favorecem a incidência e a propagação de pragas e doenças, exigindo o emprego de estratégias fitossanitárias eficazes e sustentáveis para garantir a produtividade das lavouras.

Tradicionalmente, o manejo desses problemas tem sido realizado com o uso intensivo de produtos químico-sintéticos. Embora eficazes, esses produtos levantam preocupações quanto à segurança alimentar, devido à presença de resíduos, riscos de intoxicação e impactos ambientais adversos (MAPA, 2023). A busca por soluções que aliem eficiência e sustentabilidade torna-se, portanto, uma prioridade para o setor agrícola.

Diante desses desafios, os indutores de resistência despontam como uma alternativa promissora para o manejo sustentável de pragas e doenças. Trata-se de substâncias naturais ou sintéticas capazes de ativar os mecanismos de defesa intrínsecos das plantas, fortalecendo sua resistência a patógenos e pragas (Resende et al., 2021). A prospecção desses compostos envolve a identificação de

agentes com potencial para desencadear respostas fisiológicas e bioquímicas nas culturas. Nos últimos anos, o uso de indutores de resistência tem se ampliado significativamente, com aplicações bem-sucedidas em culturas de grande importância econômica, como a soja e o milho (Silva et al., 2022).

Os indutores de resistência apresentam diversas vantagens, como a redução do uso de pesticidas químicos, o menor impacto ambiental e a promoção de uma agricultura mais sustentável. Contudo, sua adoção ainda enfrenta desafios, entre eles a variabilidade na eficácia dos compostos, que pode ser influenciada por fatores como condições ambientais e espécies cultivadas, além dos custos envolvidos na aplicação (LOPES & ALMEIDA, 2023). Nesse contexto, a pesquisa contínua e o desenvolvimento de tecnologias adaptadas às realidades locais são fundamentais para ampliar os benefícios desses agentes no manejo integrado de pragas e doenças.

1.1 JUSTIFICATIVA

A agricultura vem no processo de otimização ao longo dos anos, onde buscam produções maiores na mesma área (FAO, 2023). Com isso, grandes áreas de monocultivo vêm se multiplicando ao longo dos anos (IPCC, 2022). Uso de cultivares com maior potencial produtivo e ciclos menores também são uma ferramenta para alcançar tal objetivo (Conab, 2024). Mas, com isso, tivemos o surgimento de doenças e pragas severas na agricultura, fazendo necessário o uso cada vez mais frequente de controle químico (MAPA, 2023). Como uma forma de auxiliar no controle químico, surgiram ferramentas, dentre outros, produtos indutores de resistência, que visam agir no hospedeiro em uma ação complementar aos fungicidas e inseticidas (Resende et al., 2021). Já é sabido que indutores de resistência têm uma ação direta em oomicetos (Silva et al., 2022), mas estudos mostram que também podem auxiliar, por exemplo, no controle de insetos por deixar a planta mais rígida (Lopes & Almeida, 2023).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Realizar uma revisão sobre o uso de indutores de resistência em cultivos de culturas agrícolas, investigando como esses dispositivos podem influenciar o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da planta.

1.2.2 Objetivos específicos

Analisar o papel dos indutores de resistência como ferramentas para aumentar a resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos, melhorando a eficiência do cultivo. O estudo também buscará examinar as práticas atuais e os avanços científicos relacionados ao uso desses indutores, visando otimizar o manejo das culturas de importância agrícola.

1.3 METODOLOGIA

Este estudo foi conduzido por meio de uma revisão bibliográfica sobre o uso de indutores de resistência em cultivos agrícolas, focando na soja e outras culturas relevantes. A busca por artigos e pesquisas de referência foi direcionada para estudos que analisarmos impactos desses indutores no crescimento, desenvolvimento, e produtividade das plantas, com ênfase em sua capacidade de fortalecer as defesas naturais das plantas contra estresses bióticos e abióticos.

1.3.1.1 Seleção de Artigos e Fontes de Dados

A seleção dos artigos para esta revisão foi realizada por meio de pesquisa em bases de dados acadêmicas como Google Scholar, Scopus e SciELO. Foram incluídos estudos publicados entre 2016 e 2025, com ênfase em pesquisas que abordassem o uso de indutores de resistência em diferentes culturas agrícolas, especialmente soja, milho e outras culturas tropicais. Também foram considerados trabalhos que investigassem os efeitos de fosfitos, biofertilizantes, ácido salicílico e micronutrientes, analisando de que forma esses compostos influenciam tanto a resistência das plantas a patógenos quanto sua produtividade.

1.3.1.2 Critérios de Inclusão e Exclusão

Foram incluídos na revisão artigos que:

- Investigaram a utilização de indutores de resistência (substâncias naturais e sintéticas) em cultivos agrícolas.
- Relataram o impacto desses indutores sobre doenças de plantas, estresses abióticos ou bióticos, e produtividade.
- Apresentaram dados sobre a eficácia dos indutores em diferentes condições ambientais e estágios fenológicos das plantas.

1.3.1.3 Análise e Discussão dos Resultados

Após a seleção dos artigos, as informações relevantes foram extraídas e analisadas com o intuito de sintetizar os principais achados relacionados aos indutores de resistência. Os dados foram organizados de modo a contemplar os seguintes tópicos:

- Tipos de Indutores de Resistência: Fosfitos, biofertilizantes, ácido salicílico, micronutrientes, entre outros.
- Impactos na Resistência das Plantas: Efeitos no aumento da resistência a patógenos, controle de doenças, e resposta a estresses ambientais.
- Produtividade e Eficiência do Cultivo: Como os indutores influenciam o rendimento e a qualidade das culturas.
- Sustentabilidade e Manejo Integrado de Pragas: A contribuição dos indutores para a redução do uso de pesticidas químicos e promoção de práticas agrícolas mais sustentáveis.

1.3.1.4 Metodologia de Análise

A análise dos dados foi realizada de maneira qualitativa, com a comparação dos resultados obtidos nos estudos selecionados. A revisão incluiu tanto estudos de campo quanto experimentos laboratoriais, considerando que ambos fornecem informações cruciais sobre os efeitos dos indutores de resistência em condições controladas e reais.

1.3.1.5 Limitações

É importante ressaltar que, por se tratar de uma revisão de literatura, este estudo não envolveu a condução de experimentos próprios, estando fundamentado exclusivamente nas evidências relatadas por pesquisas previamente publicadas. Além disso, as diferenças nas condições experimentais, nos materiais genéticos utilizados e nos tipos de indutores avaliados podem ter influenciado os resultados observados nos estudos analisados, o que deve ser levado em consideração na interpretação das conclusões apresentadas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A utilização de indutores de resistência nas principais culturas agrícolas tem se consolidado como uma estratégia promissora no manejo integrado de pragas e doenças (RESENDE et al., 2021). Esses compostos atuam ativando os sistemas de defesa das plantas, fortalecendo sua capacidade de enfrentar o ataque de patógenos e de tolerar condições adversas, como o estresse hídrico e a toxidez por metais pesados (SILVA et al., 2022). A crescente demanda por soluções sustentáveis no controle fitossanitário tem impulsionado pesquisas sobre essas substâncias, que se apresentam como alternativas viáveis para reduzir a dependência de pesticidas químicos e mitigar seus impactos ambientais (LOPES; ALMEIDA, 2023).

A nutrição mineral influência diretamente a saúde das plantas e sua capacidade de resistir a agentes patogênicos, como fungos, bactérias e vírus, bem como a condições ambientais adversas, como estresse hídrico e toxicidade por metais pesados (Resende et al., 2021; Silva et al., 2022).

2.1 PAPEL DOS MACRONUTRIENTES E MICRONUTRIENTES NA RESISTÊNCIA A DOENÇAS

A nutrição mineral exerce um papel fundamental no crescimento e na resistência das plantas. O equilíbrio adequado entre os nutrientes essenciais influencia diretamente a formação de barreiras fisiológicas e bioquímicas, como a produção de fitoalexinas, proteínas de choque térmico e outros compostos bioativos com ação antimicrobiana (RESENDE et al., 2021). Por outro lado, a deficiência ou o excesso de determinados nutrientes pode comprometer o metabolismo vegetal, enfraquecendo os mecanismos de defesa e aumentando a suscetibilidade das plantas às doenças (SILVA et al., 2022).

- **Nitrogênio (N):** O nitrogênio é um dos nutrientes mais importantes para o crescimento das plantas. No entanto, níveis elevados de nitrogênio podem aumentar a suscetibilidade a doenças fúngicas, como a ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*), por promover o crescimento vegetativo excessivo. Por outro lado, a deficiência de nitrogênio pode comprometer o

desenvolvimento das defesas das plantas, tornando-as mais vulneráveis a infecções (Lopes & Almeida, 2023).

- **Fósforo (P):** O fósforo é crucial para o desenvolvimento da raiz e a resposta imune das plantas. Estudo de Cavalcante et al. (2022) mostrou que a deficiência de fósforo pode reduzir a produção de fitoalexinas, um dos mecanismos de defesa das plantas contra infecções fúngicas. O fornecimento adequado de fósforo pode, portanto, aumentar a resistência das plantas a doenças como o mofo branco (Cavalcante et al., 2022).
- **Potássio (K):** O potássio desempenha um papel fundamental na regulação do estresse hídrico e na manutenção da integridade das células vegetais. A deficiência de potássio tem sido associada a uma maior susceptibilidade das plantas a infecções bacterianas e fúngicas, pois compromete a resistência das células vegetais e reduz a formação de parede celular mais resistente (Resende et al., 2021).
- **Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg):** Ambos os nutrientes são essenciais para a manutenção da estrutura celular das plantas e a comunicação entre as células durante a defesa contra patógenos. O cálcio, em particular, tem um papel fundamental na ativação de respostas de defesa, como a síntese de proteínas antimicrobianas. A deficiência de cálcio pode prejudicar a sinalização celular, tornando as plantas mais vulneráveis a ataques de patógenos (Silva et al., 2022).

2.1.2 Micronutrientes e a indução de resistência

Micronutrientes, como o cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn), desempenham papéis vitais na ativação de mecanismos de resistência em plantas (Resende et al., 2021). Esses micronutrientes estão envolvidos na produção de antioxidantes, nas vias de sinalização de defesa e na ativação de genes relacionados à resistência (Silva et al., 2022).

- **Cobre (Cu):** O cobre é essencial para a atividade de várias enzimas envolvidas nas respostas de defesa das plantas, incluindo aquelas que produzem fitoalexinas e outras substâncias antimicrobianas. Estudos, como o de Ritt et al. (2023), mostram que os quelatos de cobre podem melhorar a

resistência das plantas a várias doenças fúngicas, incluindo a ferrugem asiática da soja e o mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum)* (Ritt et al., 2023).

- **Zinco (Zn):** O zinco tem mostrado efeitos positivos na resistência das plantas a várias doenças, incluindo aquelas causadas por patógenos do solo. O zinco está envolvido na ativação de vias de sinalização que regulam as respostas imunes. A deficiência de zinco pode reduzir a produção de proteínas de defesa, tornando as plantas mais suscetíveis a infecções fúngicas e bacterianas (Lopes & Almeida, 2023).
- **Manganês (Mn):** O manganês é um cofator essencial para a atividade da *superóxido dismutase* (SOD), uma enzima antioxidante importante na defesa contra o estresse oxidativo causado por patógenos. O manganês também é necessário para a ativação de mecanismos de defesa contra fungos, como o *Sclerotinia sclerotiorum* (Silva et al., 2022).
- O **Selênio (Se)**, por sua vez, também tem mostrado benefícios na nutrição vegetal e na fixação biológica de nitrogênio em leguminosas. A suplementação com Se aumentou a síntese de flavonoides, favorecendo a interação com bactérias fixadoras de nitrogênio, melhorando a produtividade e a tolerância a estresses abióticos em culturas como soja, feijão-caupi e amendoim (Cunha, 2022).
- O **Silício (Si)** tem sido investigado como uma barreira contra insetos-praga. No cultivo da soja (*Glycine max*), verificou-se que a adubação com Si não apenas fortalece a parede celular das plantas, dificultando a penetração de pragas, mas também estimula respostas bioquímicas que aumentam a resistência a insetos. Essa estratégia tem potencial para reduzir o uso de pesticidas, promovendo um manejo mais sustentável (GOMES; MORAES; NERI, 2009).

2.2 INDUTORES DE RESISTÊNCIA EM SOJA

A soja (*Glycine max*) é uma das culturas mais afetadas por doenças, como a ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e a podridão das raízes, que comprometem significativamente a produtividade (Conab, 2024). A utilização de indutores de resistência na soja tem sido amplamente estudada, especialmente com relação ao uso de fosfitos, biofertilizantes e ácido salicílico (Resende et al., 2021).

Estudos conduzidos por Azarias et al. (2021) investigaram o efeito do boro associado a fungicidas no controle da ferrugem-asiática da soja, observando que esse micronutriente potencializou a resposta das plantas por meio da ativação de mecanismos de defesa, como a síntese de fitoalexinas — compostos antimicrobianos naturais com ação direta sobre fungos patogênicos. Essa constatação é corroborada por Oliveira et al. (2025), que avaliaram o uso de biofertilizantes em sistemas de cultivo de soja na região do ecótono Cerrado-Pantanal. Os autores relataram melhorias na nodulação radicular e um aumento da resistência biológica das plantas, embora sem impactos significativos sobre a produtividade. Esses achados sugerem que, embora os biofertilizantes contribuam para a indução de resistência, sua eficácia produtiva está mais relacionada a cenários de alta pressão patogênica, onde os benefícios fisiológicos se tornam mais evidentes.

Além disso, a aplicação de ácido salicílico tem mostrado resultados positivos no controle da ferrugem asiática. O trabalho de Castaldo (2023) mostrou que concentrações de ácido salicílico (0,1% e 0,01%) induziram resistência nas plantas, reduzindo a incidência da doença e aumentando a produtividade da soja. Esse efeito é atribuído à ativação do sistema de defesa natural da planta, que aumenta a expressão de genes relacionados à resistência sistêmica adquirida (SAR). Este estudo destaca o potencial de compostos naturais para complementar tratamentos convencionais, reduzindo a necessidade de fungicidas químicos.

2.2.2 Fosfitos e seu papel no controle de doenças

Os resultados obtidos em diferentes estudos demonstram que a indução de resistência na soja pode ser uma ferramenta eficiente para o controle de doenças e o aumento da produtividade. O uso de diferentes indutores, como fosfitos, agentes biológicos e fungicidas, foi avaliado sob diversas condições, e os efeitos positivos foram amplamente registrados.

Os fosfitos (de potássio, cobre e manganês) têm se destacado como indutores de resistência devido à sua capacidade de ativar defesas sistêmicas nas plantas, além de sua atividade fungicida direta. O estudo de Bertoldo e Mazaro (2017) na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) avaliou o impacto dos fosfitos na ativação de mecanismos de defesa em cotilédones de soja. Os

resultados indicaram que os fosfitos induziram a produção de gliceolina, uma fitoalexina essencial na defesa da planta contra patógenos, especialmente na concentração de 0,004%. Além disso, Bruzamarello (2016) demonstrou que fosfitos estimulam a produção de fitoalexinas e enzimas relacionadas à resistência sistêmica adquirida (RSA), reduzindo a incidência da ferrugem-asiática. O uso contínuo de fosfitos também pode fortalecer a parede celular da planta, tornando-a mais resistente a ataques de patógenos (Silva et al., 2022).

Pesquisas adicionais indicam que os fosfitos atuam em mecanismos múltiplos, combinando efeito fungistático direto sobre patógenos e a ativação de vias metabólicas específicas na planta. Essa interação contribui para o aumento da expressão de proteínas PR *(pathogenesis-related),* que desempenham papéis essenciais na defesa imunológica da planta contra infecções (Lopes & Almeida, 2023). Além disso, estudos demonstram que o uso de fosfitos pode estimular a produção de compostos fenólicos e ligninas, reforçando a estrutura celular e dificultando a penetração de patógenos (RESENDE et al., 2021).

2.2.3 Indução de Resistência a Doenças com Silício e Fosfitos

O silício (Si) tem sido amplamente estudado por seu papel na indução de resistência em diversas culturas. Em milho, verificou-se que plantas com maior concentração foliar de Si apresentaram menor severidade do mofo de *Maydis*, causado por *Bipolaris maydis*. O elemento não apenas reduziu os sintomas da doença, mas também preservou a eficiência fotossintética e estimulou a atividade de enzimas antioxidantes e de defesa (LATA-TENESACA, et al, 2024).

De forma semelhante, a aplicação de fosfitos mostrou-se eficaz no controle da ferrugem do café (*Hemileia vastatrix*), uma das principais doenças que afetam essa cultura. O uso de fosfito de cobre reduziu a severidade da doença em até 69%, demonstrando seu potencial como alternativa sustentável aos fungicidas convencionais (MATUCZAK, 2016).

2.2.4 Agentes Biológicos e Biofertilizantes

Os agentes de controle biológico, também conhecidos como biofungicidas, como *Trichoderma harzianum* e *Bacillus amyloliquefaciens*, avaliados por Barbieri

(2023), demonstraram elevado potencial na supressão de fitopatógenos e na indução de mecanismos de defesa na cultura da soja, especialmente no controle de doenças de final de ciclo. Esses microrganismos atuam não apenas de forma direta sobre os patógenos, mas também estimulam vias metabólicas específicas, como a via dos fenilpropanoides, promovendo a síntese de compostos com ação antimicrobiana (SILVA et al., 2022). Além disso, a interação entre esses agentes biológicos e o microbioma da rizosfera tem se revelado essencial para a regulação do crescimento vegetal e o fortalecimento da resistência contra infecções (RESENDE et al., 2021).

Cabe destacar também que biofertilizantes derivados de algas, como o *Ascophyllum nodosum*, têm demonstrado grande potencial na indução de resistência, especialmente em condições de estresse. Andrade et al. (2024) observaram que esses bioestimulantes melhoram a taxa fotossintética e a eficiência fisiológica das plantas, além de auxiliarem na recuperação de danos causados por fatores externos, como o uso de pesticidas.

2.2.5 Fungicidas e Integração de Indutores de Resistência

Segundo Pilger da Cruz (2024), a combinação de indutores de resistência com fungicidas convencionais proporciona um controle mais eficaz da ferrugem-asiática da soja. A aplicação de *Saccharomyces cerevisiae* em associação com fungicidas resultou em menor severidade da doença e maior retenção foliar, favorecendo o desempenho fisiológico das plantas ao longo do ciclo. Essa abordagem integrada alia a ação direta dos fungicidas na supressão dos patógenos à capacidade dos indutores de resistência em ativar os mecanismos naturais de defesa vegetal, promovendo um manejo mais eficiente e sustentável (MATUCZAK, 2016).

A combinação de diferentes classes de fungicidas com indutores também tem mostrado efeitos sinérgicos, potencializando a resposta imunológica da soja e reduzindo a necessidade de aplicações frequentes. Este efeito sinérgico ajuda a minimizar a pressão seletiva sobre populações de patógenos e retardar o desenvolvimento de resistência aos defensivos químicos (RESENDE et al., 2021).

2.2.6 Impactos na Produtividade e Sustentabilidade

A melhoria no controle fitossanitário refletiu diretamente no aumento da produtividade da soja. Matuczak (2016) demonstrou que a associação de fosfitos com fungicidas resultou em um incremento significativo no rendimento da cultura. A menor severidade das doenças possibilitou que as plantas direcionassem mais recursos metabólicos para o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, especialmente para o enchimento de grãos, culminando em maior produtividade final. Além disso, o uso de indutores de resistência contribuiu para uma maior uniformidade das lavouras, minimizando perdas ocasionadas por surtos patogênicos e promovendo estabilidade produtiva (BARBIERI, 2023).

A utilização de indutores de resistência também tem mostrado benefícios ambientais, como a redução no uso de produtos químicos agressivos ao meio ambiente. Diferente dos fungicidas químicos, os biocontroles não deixam resíduos tóxicos no solo e podem contribuir para a biodiversidade do ecossistema agrícola (BARBIERI, 2023).

A indução de resistência na soja, por meio do uso de fosfitos, agentes biológicos e fungicidas, se mostra uma abordagem viável para o manejo fitossanitário da cultura, com efeitos positivos na produtividade e na sustentabilidade agrícola. A integração de diferentes técnicas pode proporcionar um controle mais eficaz e abrangente, com impactos duradouros na qualidade do solo e na microbiota associada às raízes da soja (RESENDE et al., 2021). No entanto, a eficácia dos tratamentos pode variar conforme as condições climáticas, a cultivar utilizada e o estágio fenológico no momento da aplicação dos indutores. Ensaios a longo prazo são essenciais para avaliar a sustentabilidade do uso desses produtos e o impacto na fisiologia da planta (MATUCZAK, 2016).

2.2.6 Alternativas Naturais para o Controle de Doenças Pós-Colheita

Além da indução de resistência durante o cultivo, o uso de compostos naturais tem sido explorado para o controle de doenças pós-colheita. O óleo essencial de *Baccharis dracunculifolia* demonstrou alta eficácia na redução da podridão por *Alternaria alternata* em pitaya. Testes in vitro e in vivo indicaram que concentrações crescentes do óleo inibiram o crescimento do fungo e reduziram

significativamente a severidade da doença nos frutos, sugerindo uma abordagem sustentável para o manejo pós-colheita (DEBONA et al, 2021).

Por fim, observa-se que os indutores de resistência apresentam alto potencial como ferramentas alternativas no manejo de doenças de plantas, tanto no período de cultivo quanto no pós-colheita.

A capacidade desses compostos em estimular os mecanismos naturais de defesa vegetal, aliada à sua baixa toxicidade e impacto ambiental reduzido, reforça sua importância para a agricultura sustentável. Sendo assim, a utilização estratégica de indutores de resistência apresenta um resultado promissor na redução da dependência de defensivos químicos, contribuindo para a segurança alimentar e a preservação dos ecossistemas agrícolas.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho analisou mais de 30 documentos científicos, abordando temas cruciais para a compreensão dos mecanismos de indução de resistência em plantas.

A pesquisa enfatizou a relevância dos indutores de resistência, substâncias que, ao serem aplicadas nas plantas, ativam seus sistemas de defesa e tornam-nas mais resistentes a patógenos, contribuindo de maneira significativa para o manejo integrado de doenças. Sendo os fosfitos e agentes biológicos os que mais se destacam pelos seus efeitos benéficos.

Além disso, foi possível observar que os nutrientes desempenham um papel fundamental na indução de resistência, pois, além de sustentar o crescimento saudável das plantas, também participam da modulação dos processos bioquímicos relacionados à defesa contra agentes patogênicos.

A integração de estratégias de nutrição mineral com o uso de indutores de resistência, como fosfitos, biofertilizantes e quelatos de metais, oferece uma abordagem promissora para o manejo de doenças em diversas culturas agrícolas, contribuindo para a redução do uso de produtos químicos e promovendo a sustentabilidade na agricultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C. L. B.; et al. **Biostimulant potential in mitigation of herbicide damage in soybean crops**. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 45, n. 6, p. 1975-1996, 2024.

AZARIAS, J. F. D.; et al. **Control of soybean Asian rust with different boron sources associated with fungicides**. *Agricultural Science Review*, v. 2021, p. 10-20, 2021.

BARBIERI, L. L. **Biocontrole de fitopatógenos: uso de agentes biológicos na indução de resistência em soja**. 2023. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal.

BARBOSA, R. L. P. **Silício como agente indutor de resistência a pragas na cultura da soja**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Uberlândia.

BERTOLDO, J. R.; MAZARO, S. M. **Indução de resistência por fosfitos em soja**. 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

BRUZAMARELLO, A. **Indutores de resistência na soja: o papel dos fosfitos e seu impacto na defesa contra patógenos**. *Revista Brasileira de Fitopatologia*, v. 44, p. 123-135, 2016.

CAVALCANTE, W. S. S.; et al. **Combinations of copper phosphite and fungicides in soybean disease control**. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 1, 2022.

CASTALDO, J. H. **Salicylic acid as a resistance inducer for soybean Asian rust**. *Revista Eletrônica Interdisciplinar*, v. 15, n. 2, p. 49-51, 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Último levantamento da safra 2023/2024 estima produção de grãos em 298,41 milhões de toneladas**. 2024. Disponível em: https://www.conab.gov.br. Acesso em: 04 mar. 2025.

CUNHA, M. L. O. **Physiological and biochemical role of selenium in flavonoid synthesis and biological nitrogen fixation in leguminous plants**. 2022. Dissertation – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

DEBONA, D.; PIVOTTO, A.; TETZLAFF, A. J.; et al. **Essential oil of *Baccharis dracunculifolia* (Asteraceae) decreases *Alternaria* rot in pitahaya**. *Journal of Agricultural Science*, v. 13, n. 7, 2021. DOI: https://doi.org/10.5539/jas.v13n7p10

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The future of food and agriculture – Drivers and triggers for transformation**. Rome: FAO, 2023. Disponível em: https://www.fao.org. Acesso em: 04 mar. 2025.

GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; NERI, D. K. P. **Adubação com silício como fator de resistência a insetos-praga e promotor de produtividade em cultura de batata inglesa em sistema orgânico**. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 33, n. 1, p. 18-23, jan./fev. 2009.

HONORATO JÚNIOR, J.; DEBONA, D.; ZAMBOLIM, L.; RODRIGUES, F. A. **Factors influencing the performance of phosphites on the control of coffee leaf rust**. *Bragantia*, v. 80, e0221, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200176

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção agrícola municipal 2024**. Disponível em: https://www.ibge.gov.br. Acesso em: 04 mar. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability**. Cambridge University Press, 2022. Disponível em: https://www.ipcc.ch. Acesso em: 14 mar. 2025.

KACHINSKI, W. D.; ÁVILA, F. W.; REIS, A. R.; et al. **Agronomic biofortification increases concentrations of zinc and storage proteins in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grains**. *Food Research International*, v. 155, 111105, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111105

LATA-TENESACA, L. F.; OLIVEIRA, M. J. B.; BARROS, A. V.; et al. **Physiological and biochemical aspects of silicon-mediated resistance in maize against maydis leaf blight**. *Plants*, v. 13, 531, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/plants13040531

LOPES, F.; ALMEIDA, R. **Indutores de resistência: desafios e perspectivas na agricultura sustentável**. *Revista Brasileira de Fitopatologia*, v. 48, n. 2, p. 213-228, 2023.

MACEDO, R. L. S.; et al. **Action of phosphite in inducing resistance in soybean in the management of white mold**. *Revista Sítio Novo*, v. 5, n. 3, p. 45-52, 2021.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. **Uso de defensivos agrícolas e segurança alimentar: relatório anual 2023**. Brasília: MAPA, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura. Acesso em: 14 mar. 2025.

MATUCZAK, M. **Efeitos do uso combinado de fosfitos e fungicidas no controle de doenças e aumento da produtividade da soja**. *Revista Brasileira de Ciência Agrícola*, v. 38, p. 45-56, 2016.

OLIVEIRA, A. M. D.; et al. **Effect of the biofertilizer Fertbokashi® on soybean nodulation and productivity**. *Revista Vivências*, v. 21, n. 42, p. 357-376, 2025.

PILGER DA CRUZ, S. **Indução de resistência em soja: efeitos do uso de *Saccharomyces cerevisiae* e fungicidas no controle de doenças**. 2024. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Instituto Federal Goiano, Urutaí, GO.

RESENDE, J. M.; SOUZA, P. H.; OLIVEIRA, T. C. **Ativação dos mecanismos de defesa em plantas: o papel dos indutores de resistência**. *Ciência Rural*, v. 51, n. 4, p. 1-15, 2021.

RITT, A. L.; et al. **Chelates of copper, zinc, manganese, and calcium as phytoalexin inducers in beans, soybeans, and sorghum**. *Ciência Agrícola*, v. 21, e13273, 2023.

RITT, L. S.; MOREIRA, R. A.; PEREIRA, F. S. **Micronutrientes e resistência em soja: o papel do cobre, manganês e zinco na defesa contra patógenos**. *Revista Brasileira de Fitopatologia*, v. 48, p. 123-135, 2023.

SILVA, C. F. **Fungicides and potassium phosphite in the induction of resistance to stem rot and chlorophyll fluorescence in soybean**. 2021. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados.

SILVA, P. A.; CAVALCANTE, G. P.; LIMA, V. S. **Fosfitos como indutores de resistência na soja: mecanismos de defesa e eficácia no controle de doenças**. *Revista Brasileira de Fitopatologia*, v. 45, n. 3, p. 215-225, 2022.

SILVA, L. R.; MENDES, C. A.; BARBOSA, D. P. **Aplicações de indutores de resistência em culturas agrícolas: um panorama global**. *Revista de Fitotecnia Brasileira*, v. 50, n. 3, p. 98-112, 2022.

ZANOTTO NETO, G. **Agronomic responses of soybean and corn to foliar application of amino acids**. 2023. Tese (Doutorado em Agronomia) – Instituto Federal Goiano, Rio Verde, GO.