



TALLES HENRIQUE DE OLIVEIRA PINTO

**NANOPARTÍCULAS DE MICRONUTRIENTES NO
CONTROLE DA ANTRACNOSE DO FEJJOEIRO**

**LAVRAS- MG
2023**

TALLES HENRIQUE DE OLIVEIRA PINTO

**NANOPARTÍCULAS DE MICRONUTRIENTES NO CONTROLE DA
ANTRACNOSE DO FEIJOEIRO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza
Orientador

Me. Felipe Douglas Soares Leal
Coorientador

**LAVRAS- MG
2023**

TALLES HENRIQUE DE OLIVEIRA PINTO

**NANOPARTÍCULAS DE MICRONUTRIENTES NO CONTROLE DA
ANTRACNOSE DO FEJJOEIRO**

**MICRONUTRIENT NANOPARTICLES IN THE CONTROL OF BEAN
ANTHRACHNOSIS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 27 de novembro de 2023.

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza	Universidade Federal de Lavras - UFLA
Me. Felipe Douglas Soares Leal	Universidade Federal de Lavras - UFLA
Dra. Júlia Marques Oliveira	Universidade Federal de Lavras - UFLA
Dr. Mário Roberto Nogueira Colares	Centro Universitário de Formiga - UNIFOR

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza
Orientador

Me. Felipe Douglas Soares Leal
Coorientador

**LAVRAS- MG
2023**

AGRADECIMENTOS

A Deus, que nos dá a oportunidade da vida. Pelo auxílio diário e permissão para que eu chegasse até aqui. Aos meus pais, pelo amor incondicional e respeito às minhas escolhas. A sua luta e incentivo me direcionou o olhar para a conquista e obtenção de título em uma Universidade pública, da qual muito me orgulho. Aos meus irmãos, Samuel e Gabriel pelo amor e incentivo.

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade de ingresso em um curso de excelência. Os núcleos de estudo e bolsas de pesquisa dos quais participei foram fundamentais para minha formação. Aos grupos de pesquisa: NEFRUT, NECOTON, NEPAFLOR e PROTRIGO que me auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho possibilitando-me conhecimento prático aliado ao teórico, essenciais na busca de solução para os problemas. À FAPEMIG e ao CAPES, importantes instituições de fomento à pesquisa, pelas quais fui bolsista.

Aos professores Dr. José Maria V. Pádua por ensinamentos na área de culturas de inverno e Dra. Patrícia Paiva, pela oportunidade de trabalho com nanopartículas no Projeto de Pesquisa junto à Iniciação Científica. Ao professor Dr. Edson Ampélio Pozza e ao coorientador Felipe Leal pelos ensinamentos, orientações e auxílio ao longo das experimentações e produção de trabalhos.

Ao corpo docente do Curso de Agronomia desta Universidade, que sempre com firmeza e zelo acompanhou a minha trajetória mostrando-me falhas, identificando potencialidades e apontando-me os caminhos, o que contribuiu de modo incontestável para meu crescimento pessoal e profissional.

À minha família republicana de Lavras, especialmente, à República Ranxera, que contribuiu para o meu crescimento humano ensinando-me a convivência para aperfeiçoamento nas relações coletivas. Ali aprendi o respeito às diferenças, a ordem e união, além do lidar com as adversidades do cotidiano e segurança na resolução de situações-problema.

Aos colegas, amigos e parceiros pela convivência, partilha e aprendizados ao longo do curso. A amizade, a doação de tempo para ouvir, os aconselhamentos foram fundamentais. As construções que fiz são resultados dessa convivência. Aprendi demais!

RESUMO

A antracnose representa uma ameaça significativa para a produção de feijão e a segurança alimentar global. Pesquisas se baseiam na utilização da nanotecnologia para melhorar a nutrição e resistência das plantas, explorando a capacidade das nanopartículas de micronutrientes em fortalecer as defesas naturais das plantas contra a doença. Este trabalho tem como objetivo avaliar a eficácia das nanopartículas de Zinco, Cobre e Boro, isoladamente e em combinação com o fungicida fluxapiraxade + piraclostrobina, no controle da antracnose do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Para isso, foi realizado um experimento em casa de vegetação, o cultivar BRS Estilo foi utilizado como planta de estudo. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados (DBC), compreendendo sete tratamentos distintos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram em: 1) Testemunha; 2) Aplicação de nanopartículas de Zinco; 3) Aplicação de nanopartículas de Cobre; 4) Aplicação de nanopartículas de Boro; 5) Aplicação do fungicida fluxapiraxade + piraclostrobina; 6) Aplicação combinada de fluxapiraxade + piraclostrobina, Zinco, Cobre e Boro; e 7) Aplicação combinada de Zinco, Cobre e Boro. Os tratamentos foram aplicados em dois momentos, no estágio V3 e V4 de desenvolvimento e cinco dias após a segunda aplicação foi realizada a inoculação do patógeno. Durante o período de avaliação, a severidade da antracnose foi determinada a cada cinco dias após o surgimento dos primeiros sintomas da doença. Os dados obtidos foram transformados em área abaixo da curva de progresso da doença para a severidade (AACPS). As variáveis significativas no teste F da análise de variância foram submetidas ao Teste de Agrupamento de Médias a 5% de probabilidade. Houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos para a variável AACPS. O maior controle da antracnose foi promovido pelo fungicida fluxapiraxade + piraclostrobina, com eficiência superior a 90%. A aplicação isolada das NPs de Zn, B e Cu também promoveu a redução da AACPS, com 68, 73 e 59% de eficiência. A mistura dessas NPs na mesma calda promoveu a redução da AACPS em 82%.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*; Agricultura Sustentável; Manejo alternativo de doenças de plantas; Nanotecnologia.

ABSTRACT

Anthrachnose poses a significant threat to bean production and global food security. Research is based on the use of nanotechnology to improve plant nutrition and resistance, exploring the ability of micronutrient nanoparticles to strengthen plants' natural defenses against disease. This work aims to evaluate the effectiveness of Zinc, Copper and Boron nanoparticles, alone and in combination with the fungicide fluxapyroxad + pyraclostrobin, in controlling bean anthracnose (*Phaseolus vulgaris* L.). For this, an experiment was carried out in a greenhouse, the BRS Estilo cultivar was used as a study plant. The experimental design adopted was randomized blocks (RBD), comprising seven different treatments and four replications. The treatments consisted of 1) Witness; 2) Application of Zinc nanoparticles; 3) Application of Copper nanoparticles; 4) Application of Boron nanoparticles; 5) Application of the fungicide fluxapyroxad + pyraclostrobin; 6) Combined application of fluxapyroxad + pyraclostrobin, Zinc, Copper and Boron; and 7) Combined application of Zinc, Copper and Boron. The treatments were applied at two times, at the V2 and V4 stage of development and five days after the second application, the pathogen was inoculated. During the evaluation period, the severity of anthracnose was determined every five days after the first symptoms of the disease appeared. The data obtained were transformed into the area under the disease progress curve for severity (AUDPCS). The significant variables in the F test of the analysis of variance were submitted to the Skott-Knott test at 5% probability. There was a significant difference ($p < 0.05$) between treatments for the AUDPCS variable. The greatest control of anthracnose was promoted by the fungicide fluxapyroxad + pyraclostrobin, with efficiency greater than 90%. The isolated application of Zn, B and Cu NPs also promoted the reduction of AUDPCS, with 68, 73 and 59% efficiency. Mixing these NPs in the same syrup reduced AUDPCS by 82%.

Keywords: *Phaseolus vulgaris*; Sustainable Agriculture; Alternative management of plant diseases; Nanotechnology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sintomas de antracnose em plantas de feijoeiro – Testemunha.	22
Figura 2 – Sintomas de antracnose em plantas de feijoeiro – Nanopartículas de Zinco.	22
Figura 3 – Sintomas de antracnose em plantas de feijoeiro – Nanopartículas de Cobre.	23
Figura 4 – Sintomas de antracnose em plantas de feijoeiro – Nanopartículas de Boro.	23
Figura 5 – Sintomas de antracnose em plantas de feijoeiro – Fungicidas Fluxapiraxade + Piraclostrobina.	24
Figura 6 – Sintomas de antracnose em plantas de feijoeiro – Fungicidas Fluxapiraxade + Piraclostrobina + Nanopartículas de Zinco, Cobre e Boro.	24
Figura 7 – Sintomas de antracnose em plantas de feijoeiro – Nanopartículas de Zinco, Cobre e Boro.	25
Figura 8 – Curva de progresso da severidade da antracnose do feijoeiro (<i>C. lindemuthianum</i>) aos 7, 12, 17, 22 e 27 dias após a inoculação (DAI).	25
Figura 9 – Área abaixo da curva de progresso para a severidade da antracnose do feijoeiro (AACPS).	28

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Severidade da antracnose do feijoeiro (<i>C. lindemuthianum</i>) aos 7, 12, 17, 22 e 27 dias após a inoculação (DAI).....	27
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1 A Cultura de Feijão	12
2.2 Antracnose do Feijoeiro.....	12
2.3 Nutrição Mineral.....	13
2.4 Nanotecnologia na Agricultura.....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1 Experimento em ambiente controlado.....	19
3.2 Inoculação de <i>Colletotrichum lindemuthianum</i>	20
3.3 Avaliação de severidade da antracnose	21
3.4 Análises estatísticas	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5 CONCLUSÃO.....	30
REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) é uma das culturas agrícolas mais cultivadas no Brasil, desempenhando um papel incontestável na dieta da população brasileira. Dados recentes da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) para a safra 2022/2023 destaca a magnitude da presença e da relevância dessa cultura no cenário agrícola do país. Com área plantada de 857,3 mil hectares, produtividade média de 1.116 Kg ha⁻¹ e uma produção total estimada em 956,6 mil toneladas, o feijão é uma cultura de destaque, com impacto tanto na segurança alimentar quanto na economia agrícola brasileira (CONAB, 2023).

Além de ser alimento básico na dieta dos brasileiros é um símbolo da cultura alimentar e da identidade do país. Sua versatilidade na culinária, juntamente com seu alto valor nutricional, o torna um alimento essencial em inúmeras casas brasileiras. No entanto, por trás dessa popularidade culinária, existe um setor agrícola complexo, com desafios significativos para atender à demanda crescente de feijão no Brasil e no mundo (LOVATO et al., 2017). Entre eles, a ocorrência de fatores capazes de reduzir sua produtividade, destacando-se a suscetibilidade às doenças.

A antracnose é uma doença de grande relevância na agricultura, afetando diversas culturas em todo o mundo. Dentre essas culturas, destaca-se o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*), por desempenhar papel crucial na alimentação de milhões de pessoas globalmente. A antracnose do feijoeiro é causada por *Colletotrichum lindemuthianum*, sendo responsável por prejuízos consideráveis na produção, resultando em reduções significativas no rendimento das culturas. Além disso, a antracnose compromete a qualidade das sementes, levando a perdas econômicas substanciais para agricultores e à ameaça à segurança alimentar em diversas regiões (GOMES; WAURECK, 2020; WENDLAND; LOBO JUNIOR, 2023).

Para enfrentar os desafios da antracnose do feijoeiro, a pesquisa agrícola tem buscado constantemente novas estratégias de manejo, incluindo o uso de nanotecnologia na agricultura. A nanotecnologia oferece uma série de oportunidades promissoras para melhorar a nutrição e a resistência das plantas a doenças, e uma abordagem inovadora que vem ganhando destaque envolve o uso de nanopartículas de micronutrientes. Essas nanopartículas são formuladas com elementos essenciais, como Zinco (Zn), Cobre (Cu) e Boro (B), necessários em quantidades mínimas, mas capazes de desempenhar funções vitais nas plantas (GONÇALVES et al., 2019; KACHINSKI et al., 2020).

Os micronutrientes desempenham papel fundamental na saúde e no crescimento das plantas, e a nanotecnologia permite entrega eficaz desses nutrientes. Aplicar nanopartículas de

micronutrientes pode aumentar a absorção desses elementos, promovendo equilíbrio nutricional e fortalecendo suas barreiras de defesa contra fitopatógenos (ADISA et al., 2019; FIOLE et al., 2021). Além disso, as nanopartículas têm o potencial de oferecer uma liberação controlada de nutrientes ao longo do tempo, otimizando o uso desses elementos essenciais (ELEMKE et al., 2019).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar a eficácia das nanopartículas de Zinco, Cobre e Boro, tanto individualmente quanto em combinação com o fungicida fluxapiraxade + piraclostrobina, no controle da antracnose do feijoeiro.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A Cultura de Feijão

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das culturas mais populares no Brasil, desempenhando papel essencial na dieta da população. De acordo com dados da Conab (2023), a 1ª safra de feijão na temporada 2022/2023 apresentou números expressivos, refletindo a importância dessa cultura no cenário agrícola do país. Com uma área plantada de 857,3 mil hectares, produtividade média de 1.116 Kg ha⁻¹ e produção total de 956,6 mil toneladas, o feijão tem grande importância tanto para a segurança alimentar quanto para a economia agrícola brasileira (CONAB, 2023).

O feijoeiro é tradicionalmente cultivado em todas as regiões do Brasil, adaptando-se a diferentes condições climáticas e de solo. Essa versatilidade permitiu ampla distribuição, contribuindo significativamente para a subsistência e a renda de agricultores em todo o país (LOVATO et al., 2017). O feijão carioca é o mais cultivado, sendo uma das principais escolhas dos consumidores brasileiros. No entanto, outras variedades e espécies também desempenham papel fundamental na alimentação brasileira, como por exemplo, o feijão preto e o caupi *Vigna unguiculata*, amplamente utilizados em pratos tradicionais da culinária do país, como a feijoada (SANTOS; LIMA, 2015).

A cultura do feijão é caracterizada por sua importância social e econômica, pois muitos pequenos agricultores dependem dela como fonte de subsistência e renda. Além disso, o feijão desempenha um papel crucial na segurança alimentar da população brasileira, pois é uma fonte rica em proteínas, fibras, vitaminas e minerais essenciais. A produção satisfatória de feijão é fundamental para garantir o acesso a alimentos nutritivos para milhões de brasileiros (MORAES; MENELAU, 2017).

Apesar da importância da cultura do feijão, os desafios são constantes para os produtores, incluindo ameaças de doenças, como a antracnose, pragas, variações climáticas e questões relacionadas à sustentabilidade agrícola.

2.2 Antracnose do Feijoeiro

A antracnose é uma doença fúngica amplamente reconhecida como uma das principais ameaças à produção de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em todo o mundo. É altamente destrutiva, infecta folhas, hastes, vagens e sementes do feijoeiro. O agente causal da

antracnose do feijoeiro é o fungo *Colletotrichum lindemuthianum*. Esse fungo pode estar presente de forma assintomática no hospedeiro durante parte do seu ciclo de vida, tornando difícil a detecção precoce da doença (WENDLAND; LOBO JUNIOR, 2023).

O ciclo de vida do patógeno, *Colletotrichum* spp. envolve múltiplas etapas, incluindo a formação de estruturas reprodutivas chamadas acérvulos, liberam conídios e podem se espalhar facilmente na planta hospedeira e para outras próximas. Esses esporos são transportados com o vento, água da chuva e outros vetores, contribuindo para a disseminação rápida da doença em condições favoráveis de alta umidade do ar (85%) e temperaturas amenas (PADDER et al., 2017; LEITE et al., 2021).

O impacto da antracnose na produção de feijão é substancial. A doença pode resultar em reduções significativas no rendimento das culturas, devido à necrose foliar, deformação de vagens e sementes, além da queda prematura de vagens. Em áreas onde o feijão é uma fonte alimentar fundamental, a antracnose também pode ter sérias implicações na segurança alimentar, uma vez que compromete a produção desse alimento básico em muitas dietas (GOMES; WAURECK, 2020). A disseminação da antracnose do feijoeiro é agravada por diversos fatores, incluindo a falta de resistência durável nas variedades de feijão disponíveis, as condições climáticas favoráveis à doença e práticas agrícolas inadequadas (PEREIRA et al., 2018).

2.3 Nutrição Mineral

Os nutrientes essenciais são divididos em duas categorias, os macronutrientes e os micronutrientes. Para suas funções vitais, as plantas requerem maiores proporções de macronutrientes e menos micronutrientes, porém ambos são essenciais (MARSCHNER, 2012).

Com relação aos micronutrientes, esses são elementos químicos essenciais para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, embora sejam necessários em quantidades menores, em comparação com os macronutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio. Esses elementos desempenham um papel fundamental nas funções metabólicas das plantas, garantindo que a planta tenha a saúde e a vitalidade necessárias para uma produção saudável (PAULETTI, 2016). São conhecidos como elementos traço, elementos químicos necessários para o crescimento das plantas em quantidades variando de microgramas a miligramas por grama de tecido vegetal e desempenham papéis vitais em uma variedade de processos metabólicos nas plantas. Os micronutrientes mais comuns incluem ferro (Fe), manganês (Mn),

zinco (Zn), cobre (Cu), molibdênio (Mo), boro (B) e cloro (Cl). Esses elementos são essenciais para a síntese de compostos orgânicos, regulação do metabolismo e funções vitais como a fotossíntese (PAULETTI, 2016; GONÇALVES et al., 2019). Por exemplo, o ferro é um componente essencial da clorofila, a molécula responsável pela fotossíntese. O zinco atua como um cofator em várias enzimas envolvidas na síntese de proteínas e no metabolismo de carboidratos. O manganês está envolvido na decomposição da água durante a fotossíntese e na formação de clorofila. O boro é crucial para a formação da parede celular e o transporte de açúcares. O cobre é essencial para a respiração mitocondrial, metabolismo do carbono e do nitrogênio, para a proteção contra o estresse oxidativo e é necessário para a síntese da parede celular (MENDEL et al., 2009; GONÇALVES et al., 2019; KACHINSKI et al., 2020).

A falta de micronutrientes nas plantas pode levar a uma série de efeitos adversos. Por exemplo, a deficiência de ferro resulta em clorose, uma condição em que as folhas se tornam amareladas devido à falta de clorofila. A deficiência de manganês pode resultar em uma diminuição na taxa de crescimento das plantas, enquanto a falta de zinco leva à formação inadequada de sementes e à diminuição do rendimento. É importante notar que a carência de micronutrientes pode ser mais acentuada em solos com pH inadequado, uma vez que a disponibilidade desses elementos está diretamente relacionada à acidez do solo.

A nutrição equilibrada, associada ao suprimento adequado de água, é essencial para o bom crescimento e o desenvolvimento das plantas. Além disso, são componentes primários no controle das doenças de plantas, ou seja, são a base da resistência horizontal. Nesse sentido, os genes associados às barreiras de resistência física ou química dependem da presença dos nutrientes em equilíbrio e da água (POZZA; POZZA, 2023). Segundo Huber (1990, 1997) as doenças de plantas podem ser influenciadas por nutrientes, tanto seus teores quanto sua interação e equilíbrio.

Portanto, a compreensão das necessidades específicas de micronutrientes das plantas e a aplicação adequada desses nutrientes são fundamentais para promover a saúde e o crescimento robusto das culturas (BEZERRA et al., 2022; LIMA FILHO, 2022).

2.4 Nanotecnologia na Agricultura

Nanotecnologia, disciplina científica e tecnológica que envolve o controle e a manipulação de materiais em escala nanométrica, ou seja, em níveis extremamente pequenos, na ordem de 1 a 100 nanômetros, tem encontrado, nas últimas décadas, aplicações inovadoras em diversas áreas, e a agricultura não é exceção (ALVES, 2005; MARTINS et al., 2016).

A nanotecnologia oferece ferramentas poderosas para resolver desafios agrícolas complexos. Ela permite manipular de forma precisa materiais a nível molecular e a criação de estruturas nanométricas personalizadas. Na agricultura, a nanotecnologia tem sido aplicada em várias frentes, incluindo o desenvolvimento de sistemas de liberação controlada de nutrientes, a formulação de pesticidas mais eficazes, de melhor absorção e seletividade, tanto por patógenos quanto no parênquima foliar, além da melhoria da eficiência no uso de água e fertilizantes (MULLER et al., 2017).

As nanopartículas têm se destacado como veículos eficazes para a entrega de nutrientes para as plantas. Devido ao seu tamanho reduzido, essas partículas podem penetrar facilmente nas estruturas das plantas, como folhas e raízes, facilitando a absorção de nutrientes. Além disso, as nanopartículas podem ser projetadas para liberar nutrientes de forma controlada, garantindo uma oferta constante ao longo do ciclo de crescimento das plantas. Isso ajuda a evitar o desperdício de nutrientes e reduz o impacto ambiental (HERNÁNDEZ et al., 2023).

A nanotecnologia também oferece oportunidades para melhorar o desempenho das culturas de maneiras diversas. Por exemplo, nanomateriais podem ser incorporados em revestimentos para sementes, protegendo-as contra patógenos e estresses ambientais. Além disso, nanossensores podem ser usados para monitorar o estado das plantas em tempo real, permitindo a adoção de práticas agrícolas mais precisas. A nanotecnologia também desempenha um papel importante no desenvolvimento de novos produtos fitossanitários mais eficazes e ambientalmente sustentáveis (PEREIRA et al., 2017; USMAN et al., 2020).

2.4.1 Nanopartículas de Micronutrientes

As nanopartículas de micronutrientes interagem com as plantas de várias maneiras. Em primeiro lugar, devido ao seu tamanho nanométrico, essas partículas podem ser facilmente absorvidas pelas raízes das plantas, uma vez que podem penetrar nas células vegetais através dos espaços intercelulares. Além disso, as nanopartículas podem ser projetadas para apresentar superfícies funcionais que se ligam a receptores específicos nas membranas celulares das plantas, facilitando ainda mais sua absorção. Esse processo de interação é crucial para garantir a entrega eficiente de micronutrientes às plantas (ADISA et al., 2019).

Quando absorvidas pelas plantas, ocorre o transporte das nanopartículas essenciais para dentro das células vegetais. Os mecanismos de transporte podem variar dependendo do

tipo de micronutriente, mas geralmente envolvem proteínas transportadoras especializadas nas membranas celulares. Essas proteínas são responsáveis por garantir que os micronutrientes alcancem o interior da célula, onde podem ser utilizados em processos metabólicos vitais (FIOL et al., 2021).

A vantagem significativa das nanopartículas de micronutrientes é o seu potencial de liberação controlada de nutrientes. As nanopartículas podem ser projetadas para liberar gradualmente os micronutrientes ao longo do tempo, proporcionando às plantas um suprimento constante desses elementos essenciais. Esse controle na liberação de nutrientes é particularmente benéfico em solos com flutuações de pH ou quando as plantas necessitam de micronutrientes em diferentes estágios de crescimento (ELEMIKE et al., 2019).

Porém, também existem algumas desvantagens que devem ser consideradas. A toxicidade, interação entre as nanoestruturas e os sistemas biológicos, a relação entre as propriedades físicas e químicas das nanopartículas com a indução de respostas tóxicas biológicas (SANTOS, 2014). Além disso, alguns adjuvantes usados em nanopartículas podem causar severa alergia, hipersensibilidade e até mesmo choque anafilático. E podem também apresentar vida útil curta, sensibilidade à temperatura e problemas de dessecação e de armazenamento (DIMER et al., 2013). Dessa forma, fica evidente a necessidade do desenvolvimento de estudos robusto e amplos sobre nanopartículas. E que o seu emprego na agricultura possa ser uma estratégia eficiente e sustentável.

2.4.2 Nanopartículas no controle de doenças de plantas

As nanopartículas podem ser projetadas como biossensores para diagnóstico de doenças de plantas e como veículos de entrega de material genético, sondas e produtos agroquímicos. À medida que a procura global pela produção de alimentos aumenta face às mudanças climáticas, a nanotecnologia poderia mitigar de forma sustentável muitos desafios na gestão de doenças, reduzindo os insumos químicos e promovendo a rápida detecção de agentes patogênicos (OLIVEIRA; POZZA; ELMER, 2019).

Segundo Leal et al. (2023), a principal diferença entre as nanopartículas e outros elementos de maior tamanho é a potencialização de suas propriedades físicas e químicas, resultante da elevada área superficial e maior grau de dispersão com menores quantidades do produto a ser pulverizado. Além disso, a eficácia das nanopartículas depende do material utilizado para projetá-la, da sua absorção, translocação e acumulação no interior do tecido vegetal, além do seu tamanho, área superficial específica e forma (RICO et al., 2011;

MAGDALANE et al., 2016). Porém, a elevada relação superfície/volume garante que as nanopartículas sejam absorvidas pelas membranas celulares, se difundam no citoplasma e, assim, encontrem de forma rápida e eficiente os locais onde atuam nos microrganismos ou fitopatógenos e na nutrição do hospedeiro (LEAL et al., 2023).

As nanopartículas já foram utilizadas para inibir o crescimento de fungos em pepino, arroz (KRISHNARAJ et al., 2012), milho (ADHIKARI et al., 2015), cacau (GALLARDO et al., 2016), tomate (KUMARI et al., 2017) e café (PÉREZ, 2019; CARVALHO et al., 2022; LEAL et al., 2023), entre outras culturas. As nanopartículas de prata, por exemplo, foram utilizadas nas doses de 10, 30, 50 e 100 mg L⁻¹ no controle do oídio (*Golovinomyces cichoracearum*/ *Sphaerotheca fusca*) em plantas de abóbora e pepino. De acordo com os autores, nas plantas de pepino a incidência foi de 57,8, 48,8, 40,2 e 20% para doses de 10, 30, 50 e 100 mg L⁻¹, respectivamente. No experimento com plantas de abóbora a incidência observada foi de 53,4, 34,4, 25 e 20% para as doses de 10, 30, 50 e 100 mg L⁻¹, respectivamente (LAMSAL et al., 2011).

Jo; Kim; Jung (2009) também avaliaram o efeito de nanopartículas de prata, adicionadas ao meio de cultura BDA, na inibição da formação de colônia de *Bipolaris sorokiniana* e *Magnaporthe grisea* e, segundo os autores as doses de 200 e 500 mg L⁻¹ foram eficazes na redução do crescimento micelial de *B. sorokiniana* e *M. grisea*, respectivamente. Em trabalho realizado por Mendes et al. (2014), foi avaliado o efeito *in vitro* da nanopartícula de prata no controle de *Phomopsis* sp. em sementes de soja, como resultado os autores constataram 90% de inibição na dose de 180 mg L⁻¹ e inibição absoluta nas doses de 270 e 540 mg L⁻¹.

A eficiência da nanopartícula de enxofre no controle de *Fusarium solani* foi relatada por Rao e Paria (2013), os autores observaram que a concentração de 570 mg L⁻¹ da nanopartícula em meio BDA inibiu 93% do crescimento micelial de *F. solani* e a dose de 720 mg L⁻¹ resultou em 100% de inibição.

Imada et al. (2016) estudaram o efeito de nanopartículas de magnésio para manejo de *Ralstonia solanacearum* em plantas de tomate e observaram rápida produção de espécies reativas de oxigênio nas raízes da planta tratadas com a nanopartículas. Em outro trabalho, Wani; Shah (2012) também compararam as nanopartículas de magnésio e zinco na dose de 50 mg L⁻¹ na germinação de conídios de *A. alternata*, *F. oxysporum*, *Rhizopus stolonifer* e observaram que a nanopartícula de magnésio foi significativamente superior ao zinco.

Kumari et al., (2017) estudaram o papel das nanopartículas contra *Alternaria solani* em tomate, utilizaram as nanopartículas de prata sintetizadas em células de *Trichoderma*

viride (MTCC 5661), os autores observaram *in vitro* a redução de 100% na contagem de esporos após o 3º dia de tratamento e redução de 73,3% na biomassa fúngica após o 7º dia de tratamento. Em plantas, houve aumento significativo de 32,6% no peso de planta fresca quando as plantas infectadas por *Alternara solani* foram tratadas com nanopartículas de prata em comparação as não tratadas.

Pérez (2019) realizou experimento *in vitro* para verificar a germinação de esporos de *H. vastatrix* tratados com nanopartículas de Ag, B, CeO₂, CuO, MnO, MoO₃, NiO, AlO, TiO₂ e ZnO nas doses de 100, 300, 500, 800 e 1000 mg L⁻¹. As NPs de Ag, Zn, Mo, Ce e Cu reduziram a germinação para menos de 50%, na menor concentração testada de 100 mg L⁻¹. No controle da ferrugem do cafeeiro, as nanopartículas de prata e cobre na dose de 500 mg L⁻¹ a eficiência foi de 93 e 75%, respectivamente, quando comparado à testemunha. No controle da ferrugem do cafeeiro, as nanopartículas de prata e cobre na dose de 500 mg L⁻¹ a eficiência foi de 93 e 75%, respectivamente, quando comparado à testemunha.

Carvalho et al. (2022) testou a eficiência das nanopartículas de Cu, Ce, Mn, Zn, Ag e B, nas doses de 3, 50, 100, 250 e 500 mg L⁻¹ sob a germinação de esporos de *Cercospora coffeicola*. As nanopartículas de prata, cério e cobre na dose de 500 mg L⁻¹ apresentaram redução da germinação de 100%, 99,66%, 98,64% comparadas às testemunhas. As mesmas nanopartículas foram aplicadas na dose de 500 mg L⁻¹ em mudas de cafeeiro para controlar a cercosporiose e os resultados foram semelhantes aos encontrados *in vitro*, pois, o controle da doença foi de 58%, 31%, 25% e 16% para as nanopartículas de prata, cério, boro e cobre, respectivamente.

Em plantas de citros, a nanopartícula de Zn foi aplicada na dose de 0,56 kg/ha, e segundo os autores houve a redução de 38% e 42% da incidência de cancro cítrico, em dois ensaios avaliados, respectivamente (GRAHAM et al., 2016). Em outro trabalho utilizando a nanopartícula de Zn, foi observada a inibição significativa do crescimento de *Botrytis cinerea* e *Penicillium expansum* em concentrações superiores a 250 mg L⁻¹ (HE et al., 2011).

Segundo Elmer; White (2018), as nanopartículas de prata, cobre e zinco foram as mais eficientes no manejo de doenças de plantas em relação aos outros elementos já estudados. As nanopartículas são benéficas para a proteção das plantas contra patógenos e alguns métodos já foram utilizados para demonstrar a função das nanopartículas de Ag, Cu, Si, Ti e Zn no sistema de defesa da planta (ELMER; WHITE, 2018).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Experimento em ambiente controlado

O experimento foi realizado em casa de vegetação do Departamento de Fitopatologia da UFLA. O material vegetal utilizado consistiu no cultivar BRS Estilo de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), suscetível à antracnose. Dez sementes foram semeadas em vasos com capacidade de 5 litros de volume com substrato comercial e após a emergência foram mantidas apenas as quatro plantas mais vigorosas em cada vaso. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com sete tratamentos e quatro repetições. Cada repetição foi composta por quatro plantas por vaso.

Os tratamentos utilizados foram uma Testemunha, onde nenhuma substância foi aplicada; as Nanopartículas de Zinco; as Nanopartículas de Cobre; as Nanopartículas de Boro; o Fungicida fluxapiraxade + piraclostrobina; a mistura do Fungicida fluxapiraxade + piraclostrobina com as Nanopartículas de Zinco, Cobre e Boro; e a associação das Nanopartículas de Zinco, Cobre e Boro (Tabela 1).

Os produtos dos tratamentos foram pulverizados de modo preventivo em dois momentos, no estágio vegetativo V3 e ao final do estágio V4. Utilizou-se um pulverizador manual para aplicar 20 mL de calda por planta, até o ponto de escorrimento, em ambas as superfícies foliares, adaxial e abaxial. Na testemunha foi utilizada apenas água destilada e esterilizada. A concentração das nanopartículas foi de 250 mg L⁻¹ e para o fungicida fluxapiraxade + piraclostrobina (Orkestra®) foi utilizada a dose recomendada em bula (200 mL ha⁻¹ em 150 litros). Para o experimento foi utilizado um volume de calda de 500 ml (Tabela 1).

Tabela 1 – Tratamentos, momento de aplicação e doses utilizadas no experimento. UFLA-MG, 2023.

	Tratamento	Aplicação*	Dose**
1	Testemunha	V3	---
		V4	
2	Nanopartículas de Zinco (NPs Zn)	V3	
		V4	
3	Nanopartículas de Cobre (NPs Cu)	V3	250 mg L ⁻¹
		V4	
4	Nanopartículas de Boro (NPs B)	V3	
		V4	
5	Orkestra® (Fluxapiroxade + Piraclostrobina)	V3	200 ml ha ⁻¹
		V4	
6	Orkestra® (Fluxapiroxade + Piraclostrobina) + Nanopartículas de Zinco, Cobre e Boro (NPs Zn, Cu, B)	V3	200 ml ha ⁻¹ + 250 mg L ⁻¹
		V4	
7	Nanopartículas de Zinco, Cobre e Boro (NPs Zn, Cu, B)	V3	250 mg L ⁻¹
		V4	

*Estádio fenológico do feijoeiro; ** Com base no volume de calda de 150 L ha⁻¹

3.2 Inoculação de *Colletotrichum lindemuthianum*

O inóculo foi produzido em meio tipo vagem, para isso, discos de meio BDA (batata-dextrose-ágar) com 5 mm de diâmetro contendo micélio do fungo foram colocados na superfície de vagens de feijão, cujas bases foram inseridas em meio ágar-água contido em tubos de ensaio, esterilizados em autoclave a 121°C por 30 minutos. Os tubos foram acondicionados em câmara tipo BOD, no escuro, com temperatura de 22 ± 2°C por 15 dias. Após esse período, foram adicionadas 2 mL de água destilada esterilizada nos tubos, os quais foram submetidos à agitação para maior desprendimento dos esporos. A suspensão obtida foi calibrada para a concentração de 1x10⁻⁶ conídios por ml. A inoculação das plantas com a suspensão de conídios do fungo *C. lindemuthianum* foi realizada cinco dias após a aplicação dos produtos no estágio V4, ou seja, após a segunda aplicação das nanopartículas.

Após a inoculação, os vasos foram colocados dentro de sacos plásticos transparentes umedecidos por 48 horas e mantidos em casa de vegetação, à uma temperatura de aproximadamente 25°C (ASSUNÇÃO et al., 2020).

3.3 Avaliação de severidade da antracnose

As avaliações da severidade da antracnose foram realizadas a cada cinco dias, de acordo com a escala diagramática proposta por Godoy et al. (1997), a partir da visualização dos primeiros sintomas da doença, totalizando cinco avaliações.

Os valores médios da severidade foram integralizados em área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS), segundo Shaner; Finney, (1977).

$$AACPD = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(Y_i + Y_{i+1})}{2} * (T_{i+1} - T_i)$$

Onde:

AACPD = área baixo da curva de progresso da doença;
 Yi = proporção da doença na i-ésima observação;
 Ti = tempo, em dias, na i-ésima observação;
 n = número total de observações.

3.4 Análises estatísticas

As variáveis analisadas foram submetidas aos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett ($p \geq 0,05$) para verificar os pressupostos da análise de variância. Como os pressupostos foram atendidos, os dados foram submetidos à análise de variância (Teste $F \leq 0,05$) e quando significativa foram comparadas por Teste de agrupamento de Scott-Knott ($p < 0,05$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os primeiros sintomas da antracnose foram observados 7 dias após a inoculação (DAI), as imagens de cada sintoma estão apresentadas nas Figuras 1 a 7.

Figura 1 – Sintomas de antracnose em plantas de feijoeiro – Testemunha.



Fonte: Do autor (2023).

Figura 2 – Sintomas de antracnose em plantas de feijoeiro – Nanopartículas de Zinco.



Fonte: Do autor (2023).

Figura 3 – Sintomas de antracnose em plantas de feijoeiro – Nanopartículas de Cobre.



Fonte: Do autor (2023).

Figura 4 – Sintomas de antracnose em plantas de feijoeiro – Nanopartículas de Boro.



Fonte: Do autor (2023).

Figura 5 – Sintomas de antracnose em plantas de feijoeiro – Fungicida Fluxapiraxade + Piraclostrobina.



Fonte: Do autor (2023).

Figura 6 – Sintomas de antracnose em plantas de feijoeiro – Fungicida Fluxapiraxade + Piraclostrobina + Nanopartículas de Zinco, Cobre e Boro.



Fonte: Do autor (2023).

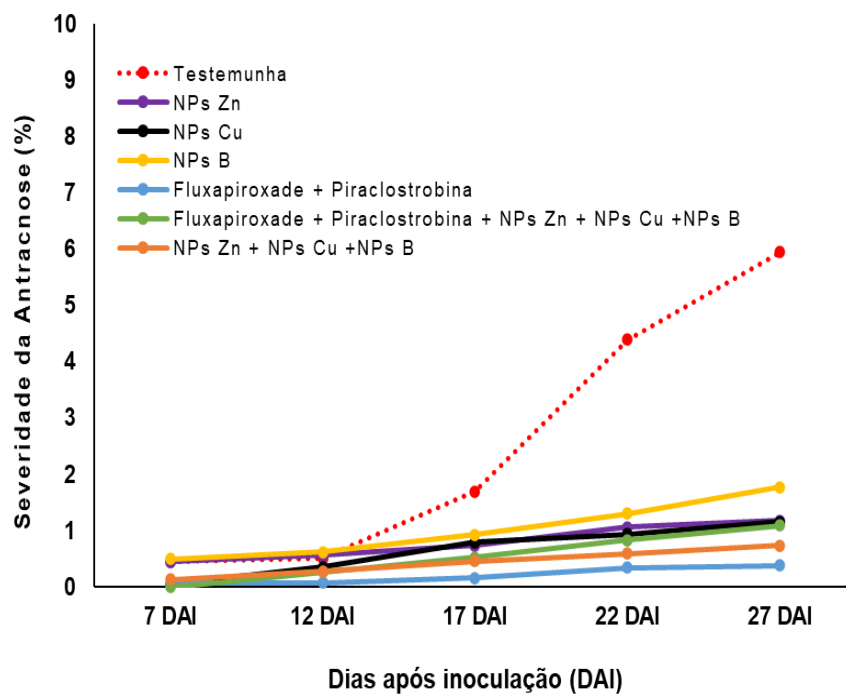
Figura 7 – Sintomas de antracnose em plantas de feijoeiro – Nanopartículas de Zinco, Cobre e Boro.



Fonte: Do autor (2023).

Na Figura 8, apresenta a curva de progresso da severidade da antracnose. Pode ser observado que a maior severidade foi de 5,9% aos 27 DAI e a menor aos 7 DAI, com 0,0%.

Figura 8 – Curva de progresso da severidade da antracnose do feijoeiro (*C. lindemuthianum*) aos 7, 12, 17, 22 e 27 dias após a inoculação (DAI).



Fonte: Do autor (2023).

Houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos para as datas de avaliação da severidade da antracnose. Aos 7 DAI os tratamentos NPs B e NPs Zn foram iguais entre si ($p < 0,05$) e não diferiram da Testemunha, com 0,5, 0,4 e 0,5%, respectivamente. Já os tratamentos NPs Cu, Fluxapíroxade + Piraclostrobina, Fluxapíroxade + Piraclostrobina + NPs Zn + NPs Cu + NPs B e NPs Zn + NPs Cu + NPs B foram iguais entre si ($p < 0,05$), com 0,1, 0,1, 0,0 e 0,1% de severidade, respectivamente.

Com 12 DAI os tratamentos NPs B e NPs Zn foram iguais entre si ($p < 0,05$) e não diferiram da Testemunha, com 0,6, 0,6 e 0,5%, respectivamente. Os tratamentos NPs Cu, Fluxapíroxade + Piraclostrobina, Fluxapíroxade + Piraclostrobina + NPs Zn + NPs Cu + NPs B e NPs Zn + NPs Cu + NPs B foram iguais entre si ($p < 0,05$), com 0,4, 0,1, 0,3 e 0,3% de severidade, respectivamente.

Aos 17 DAI o maior valor de severidade ocorreu na testemunha com 1,7%, diferenciando-se ($p < 0,05$) dos demais tratamentos. Os tratamentos NPs Zn, NPs Cu e NPs B foram iguais entre si ($p < 0,05$), com 0,7, 0,8 e 0,9% de severidade, respectivamente. Não houve diferença entre os tratamentos Fluxapíroxade + Piraclostrobina + NPs Zn + NPs Cu + NPs B e NPs Zn + NPs Cu + NPs B ($p < 0,05$), pois, a severidade observada foi de 0,5% em ambos. O menor valor de severidade foi observado no tratamento Fluxapíroxade + Piraclostrobina (0,2%), diferenciando-se ($p < 0,05$) dos outros tratamentos.

Aos 22 DAI os tratamentos Fluxapíroxade + Piraclostrobina e NPs Zn + NPs Cu + NPs B foram iguais entre si ($p < 0,05$) e os mais eficientes, pois, a severidade foi de 0,3 e 0,6%, respectivamente. Os tratamentos Fluxapíroxade + Piraclostrobina + NPs Zn + NPs Cu + NPs B, NPs Zn e NPs Cu foram iguais entre si ($p < 0,05$) e a severidade observada foi de 1,1, 0,9 e 0,8%, respectivamente. No tratamento NPs B a severidade foi de 1,3%, diferenciando-se ($p < 0,05$) dos outros tratamentos. O maior valor de severidade ocorreu na Testemunha, com 4,4%, diferenciando-se ($p < 0,05$) dos outros tratamentos.

Na última avaliação, aos 27 DAI, o maior valor de severidade ocorreu na Testemunha, com 5,9%, diferenciando-se ($p < 0,05$) dos outros tratamentos. No tratamento NPs B a severidade foi de 1,8%. Já os tratamentos NPs Zn, NPs Cu e Fluxapíroxade + Piraclostrobina + NPs Zn + NPs Cu + NPs B foram iguais entre si ($p < 0,05$), com 1,2, 1,2 e 1,1% de severidade, respectivamente. Os menores valores de severidade foram proporcionados pelos tratamentos Fluxapíroxade + Piraclostrobina e NPs Zn + NPs Cu + NPs B, com 0,4 e 0,7%, respectivamente, sendo iguais entre si ($p < 0,05$).

Tabela 2 – Severidade (%) da antracnose do feijoeiro (*C. lindemuthianum*) aos 7, 12, 17, 22 e 27 dias após a inoculação (DAI).

Tratamento	Dias após inoculação (DAI)				
	7	12	17	22	27
Testemunha	0,5 b*	0,5 b	1,7 d	4,4 d	5,9 d
NPs Zn	0,4 b	0,6 b	0,7 c	1,1 b	1,2 b
NPs Cu	0,1 a	0,4 a	0,8 c	0,9 b	1,2 b
NPs B	0,5 b	0,6 b	0,9 c	1,3 c	1,8 c
Fluxapiraxade + Piraclostrobina	0,1 a	0,1 a	0,2 a	0,3 a	0,4 a
Fluxapiraxade + Piraclostrobina + NPs Zn + NPs Cu +NPs B	0,0 a	0,3 a	0,5 b	0,8 b	1,1 b
NPs Zn + NPs Cu +NPs B	0,1 a	0,3 a	0,5 b	0,6 a	0,7 a
CV (%)	60,4	40,9	27,4	16,6	20,3

*Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si, por meio do teste Skott-Knott a 5% de probabilidade.

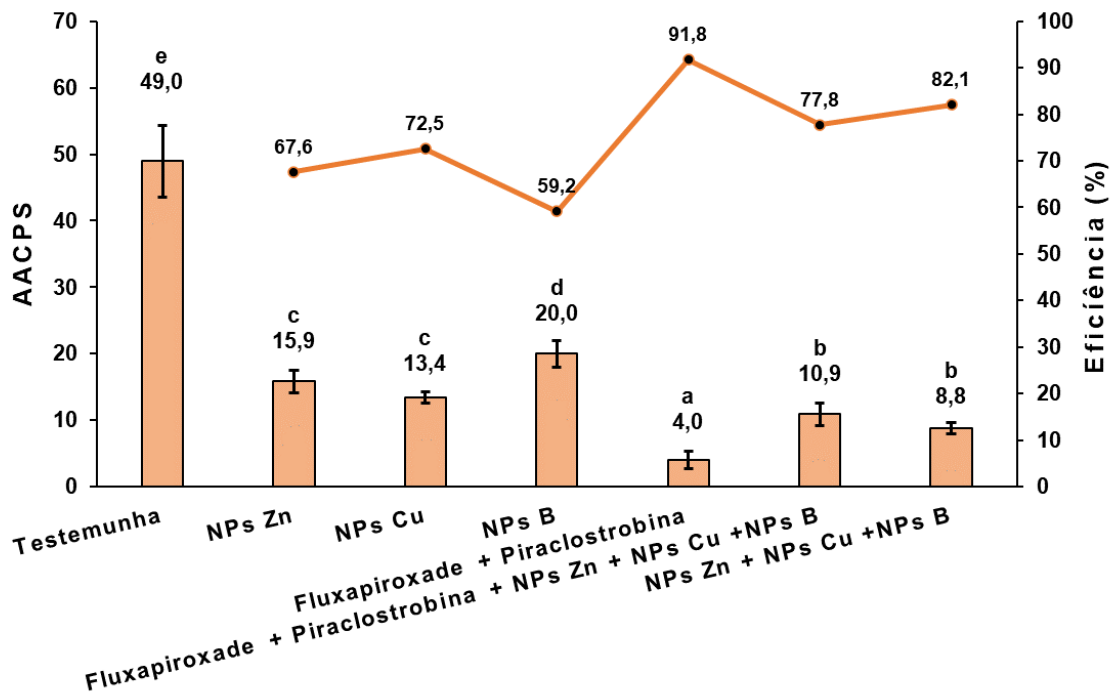
Fonte: Do autor (2023).

Houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos para a AACPS. Todos os tratamentos reduziram a severidade da antracnose (Figura 9).

O maior valor de AACPS ocorreu na Testemunha, ou seja, 49,0, diferindo-se ($p < 0,05$) dos demais tratamentos. O tratamento com o fungicida Fluxapiraxade + Piraclostrobina foi mais eficiente, com AACPS de 4,0, logo, houve a redução da antracnose em 91,8% em relação à Testemunha, sendo diferente dos demais tratamentos ($p < 0,05$) (Figura 9).

Os tratamentos Fluxapiraxade + Piraclostrobina + NPs Zn + NPs Cu +NPs B e NPs Zn + NPs Cu + NPs B forma iguais entre si ($p < 0,05$), com aproximadamente 80% de eficiência de controle da doença em relação à Testemunha (Figura 9). Os tratamentos NPs Zn e NPs Cu foram iguais entre si ($p < 0,05$) com redução de 67,6 e 72,5% da antracnose, respectivamente em relação à Testemunha (Figura 9). A menor eficiência foi observada no tratamento NPs B com AACPS de 20,0, ou seja, a redução da antracnose foi próxima a 60% em relação à Testemunha (Figura 9).

Figura 9 – Área abaixo da curva de progresso para a severidade da antracnose do feijoeiro (AACPS).



*Médias seguidas pelas mesmas letras nas barras não diferem entre si, por meio do teste Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2023).

Normalmente, os trabalhos sobre o uso de NPs no controle de doenças de plantas não abordam a associação de diferentes NPs. Dessa forma, muitos evidenciam os resultados de cada NP isoladamente. Nesse contexto, Pérez (2019) avaliou a eficiência do Cu, Zn, Mn e B na dose de 500 mg L⁻¹ no controle da ferrugem do cafeeiro e, de acordo com a autora a NP de Cu foi a mais eficiente, com 75% de controle, seguido do Mn com 56%. Para o Zn e o B a eficiência de controle foi inferior a 50%.

No presente trabalho, as NPs de Cu promoveram resultados próximos ao observado por Pérez (2019). No entanto, para o Zn e o B os resultados foram diferentes dos obtidos por esse autor, sendo que para da antracnose foi observado controle superior a 60%. Quando as NPs de Zn, Cu e B foram aplicadas em mistura na mesma calda houve sinergismo entre elas, ou seja, a eficiência de controle foi maior, superando os 80%.

A maior redução da AACPS foi promovida por Fluxapiroxade + Piraclostrobina, com mais de 90% de eficiência. Porém, quando esse foi misturado com as NPs de Zn, Cu e B a eficiência de controle foi reduzida em aproximadamente 15%, em comparação com o fungicida Fluxapiroxade + Piraclostrobina usado separadamente. Isso pode ocorrer se as NPs

formarem um revestimento ao redor das partículas do fungicida, impedindo que ele seja absorvido eficientemente. A adição de NPs também pode resultar na diluição do fungicida, reduzindo a concentração do ingrediente ativo disponível para controle da doença. E também a mistura de NPs com o fungicida pode levar à formação de aglomerados ou precipitados, o que pode reduzir a disponibilidade do fungicida para as plantas (FREITAS et al., 2016; OLIBONI, 2020; FERREIRA et al., 2023). Apesar disso, com essa associação os níveis de controle da antracnose foi próximo de 80%.

5 CONCLUSÃO

As nanopartículas de cobre, zinco e boro foram eficientes em reduzir a AACPS quando aplicados separadamente e quando misturadas. No entanto, quando foram aplicadas em mistura com o fungicida Fluxapiraxade + Piraclostrobina ocorreu interação entre os elementos, pois, houve uma leve redução da eficiência de controle da antracnose. A maior eficiência no controle foi promovida com uso do Fluxapiraxade + Piraclostrobina.

REFERÊNCIAS

- ADISA, I. O. et al. Recent advances in nano-enabled fertilizers and pesticides: a critical review of mechanisms of action. **Environmental Science: Nano**, v. 6, n. 7, p. 2002-2030, 2019.
- ALVES, Oswaldo Luiz. **Nanotecnologia e desenvolvimento**. Campinas, SP: LQES NEWS, 2005. 5 p.
- ASSUNÇÃO, A. T. S.; DALLA PRIA, M.; CHRISTMANN, P. E. T. P.; SCHAFRANSKI, T. Controle de antracnose na cultura do feijão com produtos alternativos em casa de vegetação. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 9971-9982, mar. 2020.
- BEZERRA, T. J. et al. Importância das condições de armazenamento de microgreens: Análise bibliométrica e revisão de literatura. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 3, p. e25211326584-e25211326584, 2022.
- CARVALHO, C.A., POZZA, E.A., SOUZA, P.E. et al. Nanoparticles in the management of brown eye spot in coffee. **European Journal of Plant Pathology**. 163, 767–774, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10658-022-02511-z>
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Safra 2022/23 12º Levantamento**. Ministério de Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar, Governo Federal, Brasília, DF, 2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/gaos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em 13 de set. 2023.
- ELEMIKE, E. E. et al. The role of nanotechnology in the fortification of plant nutrients and improvement of crop production. **Applied Sciences**, v. 9, n. 3, p. 499, 2019.
- FIOL, D. F. et al. Nanotechnology in plants: Recent advances and challenges. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 96, n. 8, p. 2095-2108, 2021.
- GODOY, C.V. et al. Diagrammatic scales for bean diseases: development and validation, p. 336-345, 1997.
- GOMES, V. A. R.; WAURECK, A. Eficácia de diferentes princípios ativos no controle da antracnose na cultura do feijão. **Revista Scientia Rural**, v. 1, 2020.
- GONÇALVES, A. S. F.; OLIVEIRA NETO, S. S.; MACHADO, G. G. Uso de micronutrientes na agricultura: efeitos e aplicações. **Revista Agronomia Brasileira**, v. 3, p. 1-4, 2019.
- HERNÁNDEZ, H. P. et al. Implicaciones de losnanomateriales utilizados enla agricultura: una revisión de literatura de losbeneficios y riesgos para lasustentabilidad. **Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria em Nanociencias y Nanotecnología**, v. 17, n. 32, p. 1e-50e, 2023.

KACHINSKI, W. D.; VIDIGAL, J. C. B.; ÁVILA, F. W. Zinco no solo, na planta ea saúde humana: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e827973544-e827973544, 2020.

LAMSAL, K. et al. Inhibition effects of silver nanoparticles against powdery mildews on cucumber and pumpkin. **Mycobiology**, v. 39, n. 1, p. 26–32, 2011.

LEAL, F.D.S.; SANTOS NETO, H.; PINHEIRO, I.C.L. et al. Copper and silver nanoparticles control coffee rust: decrease the quantity of sprayed active ingredients and is an alternative for sustainable coffee production. **European Journal Plant Pathology**, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10658-023-02726-8>

LEITE, A. M. et al. Reação de acessos tradicionais de feijão comum à *Colletotrichum lindemuthianum*. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, p. e563101523629-e563101523629, 2021.

LIMA FILHO, L. H. **A química do solo: Revisão bibliográfica e principais métodos de investigação agrônômica**. 2022. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Química) – Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Química, São Carlos, SP, 2022.

LOVATO, F. et al. Composição centesimal e conteúdo mineral de diferentes cultivares de feijão biorfortificado (*Phaseolus vulgaris* L.). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2017.

MARTINS, P. R. et al. Agricultura familiar, segurança e soberania alimentar e nanotecnologia: onde estamos, para onde vamos. **Revista Tomo**, n. 29, p. 151-184, 2016.

MORAES, E. S.; MENELAU, A. S.; Análise do mercado de feijão comum. **Revista de Política Agrícola**, v. 16, n.1, p. 81-92, 2017.

MULLER, C. D. et al. A review of the perspectives of nanotechnology in agriculture and environment. **Disciplinarum Scientia Naturais e Tecnológicas**, v. 18, n. 3, p. 499-514, 2017.

OLIVEIRA, J. M.; POZZA, E. A.; ELMER, W. Use of nanotechnology in plant disease suppression. In: POZZA, E. A. et al. (Eds.) **Plant health in tropical agribusiness: The numbers of the giant**. p. 56–66, Lavras, MG: UFLA, 2019.

PADDER, B. A. et al. *Colletotrichum lindemuthianum* the causal agent of bean anthracnose. **Journal of Plant Pathology**, v. 99, n. 2, p. 317-330. 2017.

PAULETTI, V. Nutrição Mineral de Plantas. **Revista Plantio Direto** v. 2010, p. 15, 2016.

PEREIRA, H. S. et al. Genotype by environment interaction for disease resistance and other important agronomic traits supporting the indication of common bean cultivars. **Euphytica**, v. 214, n. 12. p. 1-11. 2018.

PEREIRA, P. H. S. et al. Aplicações da nanotecnologia na agricultura. In: **Etic-Encontro de iniciação científica**, v. 13, n. 13, Presidente Prudente: UNESP, 2017.

POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A. Coffee plant diseases affected by nutritional balance. **Coffee Science**, [S. l.], v. 18, p. e182086, 2023.

SANTOS, F. A.; LIMA, A. Características produtivas de diferentes cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) no município de Cáceres-MT. **Enciclopedia Biosfera**, v. 11, n. 21, 2015.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow mildewing resistance in Knox wheat. **Phytopathology**, v. 67, n. 8, p. 1051-1056, 1977.

USMAN, M. et al. Nanotechnology in agriculture: Current status, challenges and future opportunities. **Science of the Total Environment**, v. 721, p. 137778, 2020.

WANI, A.H., SHAH, M.A. A unique and profound effect of MgO and ZnO nanoparticles on some plant pathogenic fungi. **Journal of Applied Pharmaceutical Science**, v.2, n.3, p.40–44, 2012.

WENDLAND, A; LOBO JUNIOR, M. Antracnose do feijoeiro comum. cap. 12, p. 357-367. In: ZAMBOLIM, L. (ed.). **Manejo integrado de doenças agressivas visando a produtividade de grãos**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2023.