

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARLON ROGERIO ALVES

EFEITO DO *FUSARIUM* NA PRODUTIVIDADE E NO CONTROLE DA
QUALIDADE DE SEMENTES DE SOJA

FORMOSA GOIÁS

2025

MARLON ROGERIO ALVES

EFEITO DO *FUSARIUM* NA PRODUTIVIDADE E NO CONTROLE DA
QUALIDADE DE SEMENTES DE SOJA

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.

Orientadora: Prof. (a). Dra. Louise Larissa May De Mio

FORMOSA GOIÁS

2025

Este trabalho é dedicado à minha namorada, à minha família e a todas aquelas pessoas que acreditaram e continuam acreditando em mim. Eu compartilho a realização deste curso com todos vocês. Vocês terão sempre o meu carinho e respeito.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e pela proteção em todos os instantes do meu viver, por brindar-me nas idas e vindas, por me guiar nas minhas indecisões e me fortalecer diante das dificuldades.

Agradeço a todos os meus familiares por todo o auxílio e apoio durante essa jornada de realização de um sonho pessoal e profissional.

Não é o mais forte da espécie que sobrevive, nem o mais inteligente.

É aquele que melhor se adapta às mudanças.

(LEON, 1963)

RESUMO

Fungos do gênero *Fusarium* podem interferir no desenvolvimento das plantas como na qualidade do produto final e na produtividade das culturas. Com este trabalho, objetivou-se discutir fungos do gênero *Fusarium* na cultura da soja e seu impacto em relação à qualidade de sementes e produtividade de soja no Brasil. Analisando as implicações, listando os principais sintomas e identificando técnicas e métodos de controle da doença causada por *Fusarium spp.* na cultura da soja no Brasil. A metodologia utilizada é uma pesquisa teórica com a intenção de demonstrar o contexto da infecção apresentada pela doença Podridão Vermelha da Raiz da soja. O Brasil está em primeiro lugar do mundo na produção de soja. A pesquisa aqui realizada aponta o complexo *Fusarium solani* como causador da Podridão Vermelha da Raiz na soja – PVR ou Morte Súbita da soja – SDS. Além disso, as espécies de *Fusarium brasiliense*, *Fusarium crassistipitatum*, *Fusarium tucumaniae* e *Fusarium virguliforme*, também são relatadas. A sintomatologia inicia nas raízes necrosando tecidos e estendendo para a parte aérea da soja. Esses sintomas da PVR/SDS interferem no processo de formação de vagens e grãos, afetando o sistema radicular, compromete a absorção de água e nutrientes e, indiretamente, pode interferir na taxa fotossintética. Além disso, contribui com a diminuição do volume da nodulação das plantas e diminuição na capacidade de absorção de nitrogênio. O lenho e o sistema radicular tornam-se menos vigorosos. Folhas, flores podem ser abortadas e redução do vigor, da emergência ao período de armazenamento e do rendimento da soja. Para enfrentar as adversidades climáticas e minimizar impactos das doenças é necessário otimizar e ajustar fatores e investimento em relação à proteção inicial com uso de fungicidas em tratamento de sementes. Uso de métodos culturais para manejo deve-se ainda adotar práticas que corrijam e evitem a compactação do solo, evitando acúmulo de umidade. A eficácia também pode ser obtida através de método genético recorrendo a utilização de cultivares precoces e/ou resistentes para minimizar perdas, garantindo produtividade no cultivo da soja.

Palavras-chave: Cultura da soja. Controle e manejo. *Fusarium spp.* *Trichodera spp.*

ABSTRACT

Fungi of the genus *Fusarium* can interfere with plant development such as the quality of the final product and crop productivity. The objective of this study was to discuss fungi of the genus *Fusarium* in soybean crops and their impact on seed quality and soybean yield in Brazil. Analyzing the implications, listing the main symptoms and identifying techniques and methods to control the disease caused by *Fusarium spp.* in soybean crops in Brazil. The methodology used is a theoretical research with the intention of demonstrating the context of the infection presented by the disease Red Rot of the soybean root. Brazil ranks first in the world in soybean production. The research carried out here points to the *Fusarium solani* complex as the cause of Red Root Rot in soybean – PVR or Sudden Soybean Death – SDS. In addition, the species of *Fusarium brasiliense*, *Fusarium crassistipitatum*, *Fusarium tucumaniae* and *Fusarium virguliforme*, are also reported. The symptomatology begins in the roots, necrotizing tissues and extending to the aerial part of the soybean. These Symptoms of PVR/SDS interfere with the process of pod and grain formation, affecting the root system, compromising the absorption of water and nutrients, and indirectly can interfere with the photosynthetic rate. In addition, it contributes to the reduction of the volume of plant nodulation and a decrease in the capacity to absorb nitrogen. The wood and root system become less vigorous. Leaves, flowers can be aborted and reduced vigor, emergence to storage period and soybean yield. To face climatic adversities and minimize the impacts of diseases, it is necessary to optimize and adjust factors and investment in relation to the initial protection with the use of fungicides in seed treatment. As cultural methods for management, practices should also be adopted that correct and avoid soil compaction, avoiding moisture accumulation. Efficacy can also be obtained through a genetic method using early and/or resistant cultivars to minimize losses, ensuring productivity in soybean cultivation.

Keywords: Soybean cultivation. Control and management. *Fusarium spp.* *Trichodera spp.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ranking dos maiores produtores de soja do mundo	14
Figura 2: Folha e raiz com sintomas da Podridão Vermelha da Raiz causada pelo <i>Fusarium spp.</i>	18
Figura 3: Parte aérea da soja com necroses causadas pelo processo infeccioso do <i>Fusarium spp.</i>	18
Figura 4: Controle e manejo do <i>Fusarium spp.</i> na soja.....	23

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
PVR	Podridão Vermelha da Raiz
USDA	United States Department of Agriculture/Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
SDS	Sudden Death Syndrome/Síndrome Morte Súbita da Soja

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 JUSTIFICATIVA	12
1.2 OBJETIVOS	12
1.2.1 Objetivo Geral	12
1.2.2 Objetivo Específicos	13
1.3 METODOLOGIA	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 A SOJA E SUA PRODUTIVIDADE NO BRASIL	14
2.2 BREVE CONCEITO DE FUNGOS DE SOLO E CULTURA DA SOJA:	
<i>Fusarium spp.</i>	15
2.3 CAUSAS DO <i>FUSARIUM SPP.</i> NA CULTURA DA SOJA	16
2.4 SINTOMAS DO <i>FUSARIUM SPP.</i> NA CULTURA DA SOJA	17
2.5 PRÁTICAS DE MANEJO E CONTROLE DO <i>FUSARIUM SSP.</i> NA CULTURA DA SOJA	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	23
4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	23
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	24
7 REFERÊNCIAS	25

1 INTRODUÇÃO

O agronegócio brasileiro tem a soja como um de seus pilares de reconhecimento na produção da economia mundial.

No que se refere a produção de sementes, o Brasil registrou um aumento médio anual de 3,9% na área plantada com sementes de soja, passando de 32,4 milhões de hectares na safra 2015/16 para 42,5 milhões em 2022/23, representando um crescimento superior a 30%. Simultaneamente, o volume de sementes cresceu de 43 milhões para 55 milhões de sacas, com um incremento médio anual de 3,4% (LENNON, S., 2024).

Além disso, melhorias na qualidade das sementes foram desenvolvidas para uma valorização significativa, com o preço médio por quilo subindo de R\$ 2,90 para R\$ 7,40. Esses fatores contribuíram para o valor do mercado do setor, que apresentou um crescimento anual de 17%, elevando-se de R\$ 8,1 bilhões para R\$ 24,4 bilhões na última safra (LENNON, S., 2024).

Nesse contexto, este trabalho é uma abordagem sobre o efeito do *Fusarium spp.* na cultura da soja e sua influência na qualidade de sementes e produtividade. Estudo sobre esse gênero de fungo tem possibilitado conquistas na área agrônômica que ao longo do tempo vem contribuindo para a melhoria da cultura da soja proporcionando maior produtividade e qualidade de sementes.

Assim, no campo da cultura da soja quando se aborda a qualidade de sementes e produtividade torna-se importante abordar os fitopatogênicos e neste trabalho serão abordados os fungos do gênero *Fusarium* que justifica a realização dessa pesquisa.

No transcorrer do trabalho é analisado o contexto dos fungos do gênero *Fusarium*, suas implicações na área do cultivo da soja, formas de identificação, as características das plantas acometidas e os efeitos na qualidade das sementes e produtividade. Tem por objetivo fazer um apanhado do alicerce teórico e discutir os efeitos da doença causada pelo *Fusarium spp.*, os danos negativos na cultura da soja no Brasil, os impactos na qualidade de sementes e produtividade.

Sabe-se que muitos fungos são importantes na agricultura, porém fungos como os do gênero *Fusarium* quando acoplados/introduzidos na cultura da soja proporcionam efeitos negativos. Esses fungos podem interferir na qualidade de sementes e na produtividade da cultura. Portanto, uma revisão sobre os principais

mecanismos a serem adotados para minimizar os impactos dos efeitos causados pelos *Fusarium spp.* e sobre técnicas ou métodos para eliminação ou redução desses microrganismos é importante. Essas questões foram algumas hipóteses para definir e entender o problema, a fim de compreender os sintomas e os efeitos de fungos do gênero *Fusarium* na produtividade e no controle da qualidade de sementes de soja.

1.1 JUSTIFICATIVA

Nas circunstâncias atuais da cultura brasileira da soja, demanda-se maior produtividade para consumo interno e externo, pois sabe-se que a soja é a matéria-prima para diversos produtos consumidos mundialmente. Essa produtividade está atrelada a vários fatores, dentre eles a escolha da cultivar, manejo e controle de doenças nas sementes e no desenvolvimento da planta, dentre outros. Na abordagem da fitopatologia, a literatura existente indica que uma das doenças que mais acometem a cultura da soja é a Podridão Vermelha da Raiz, que é causada por fungos do gênero *Fusarium* e causam redução na produtividade da soja. De acordo com Freitas; Meneghetti; Balardin (2004), as culturas afetadas podem apresentar perdas de produtividade, variando entre 20% e 80%. Na produção de sementes, este fungo pode comprometer a germinação, principalmente quando há ocorrência de atrasos na colheita e danos de umidade (GOULART, A.C.P., 1997).

Percebe-se assim que o *Fusarium spp.* interfere na produtividade da cultura da soja e justifica-se a realização dessa pesquisa sobre o efeito do *Fusarium spp.* na qualidade de sementes e na produtividade da soja.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Discutir os efeitos da doença causada pelo *Fusarium spp.* na cultura da soja no Brasil e os impactos na qualidade das sementes e produtividade.

1.2.2 Objetivo Específicos

Discutir o contexto dos fungos do gênero *Fusarium* na cultura da soja e seu impacto em relação a qualidade de sementes e produtividade da cultura no Brasil;
Analisar as implicações do *Fusarium spp.* na produção de soja no Brasil;
Listar os principais sintomas causados pelo *Fusarium spp.* na cultura da soja;
Identificar técnicas e métodos de controle do *Fusarium spp.* na cultura da soja.

1.3 METODOLOGIA

A metodologia para realização deste trabalho foi uma pesquisa bibliográfica em livros, sites e revistas que abordam a temática da fitopatologia no cultivo da soja no Brasil, visando proporcionar conhecimento necessário para compreender as implicações do *Fusarium spp.* e sua relação com a produtividade da soja e qualidade de sementes. Essa fundamentação teórica baseou-se em artigos disponíveis no Google acadêmico, revista Scielo acadêmico, publicações da Embrapa, livros, normativas da cultura da soja, disponíveis no meio físico e ou digital, dentre outras fontes e autores que abordam a temática do gênero *Fusarium* e cultura da soja.

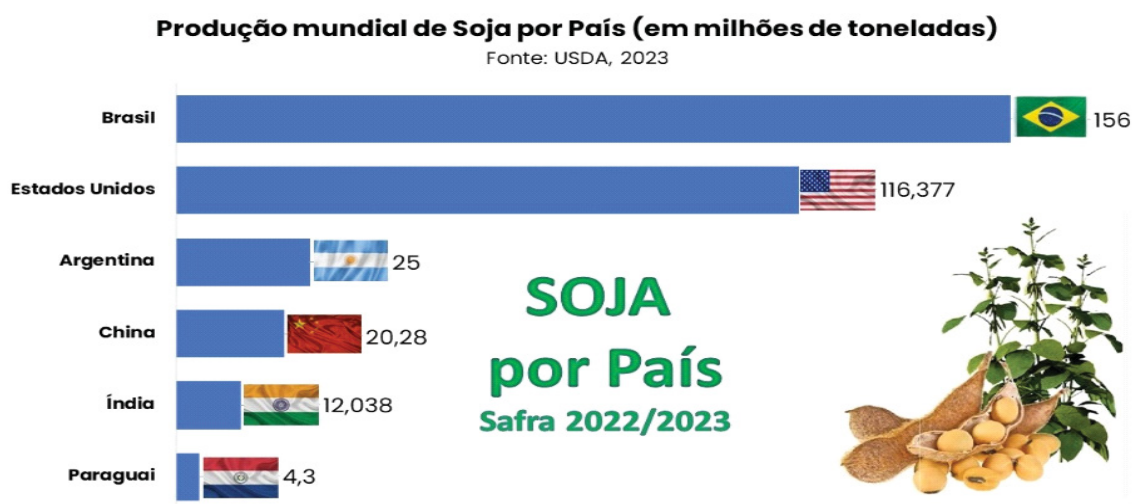
2. REVISÃO DE LITERATURA

Ao observar o cenário da produtividade da soja no Brasil, percebe-se que a soja possui diversas finalidades, sendo inquestionável que a qualidade venha desde as sementes até a obtenção do produto final, sejam eles destinados a produção de sementes ou *commodities*. Porém, para se ter um produto de qualidade, requerem-se cuidados em todo o processo produtivo, incluindo o controle de doenças durante o cultivo, como a podridão vermelha da raiz causada por fungos *Fusarium spp.*

2.1 A SOJA E SUA PRODUTIVIDADE NO BRASIL

O Brasil mantém a liderança há pelos menos 15 anos no ranking dos maiores produtores de soja do mundo. É o maior exportador mundial dessa oleaginosa. A soja é o principal grão de exportação do agronegócio brasileiro, na safra 2022/23, a produção foi de 156 milhões de toneladas do grão correspondendo a 42% de toda a soja produzida mundialmente. Conforme pode ser observado no gráfico abaixo, o Brasil lidera a produção mundial da soja (BOSCHIERO, 2024).

Figura 1: Ranking dos maiores produtores de soja do mundo



Fonte: USDA Apud BOSCHIERO Agroadvance, 2024

Segundo levantamento da CONAB, para a safra 2024, a produção da soja chega a 147,35 milhões de toneladas em uma área plantada de 45,98 milhões de hectares, atingindo uma produtividade de 3.205 kg/ha (CONAB, 2024). Já em 2024, segundo a CONAB, as produtividades da soja foram inferiores às da safra passada em quase todo o território brasileiro, reflexo das condições climáticas adversas ocorridas durante a implantação e desenvolvimento da cultura, com falta e excesso de precipitações em épocas importantes no desenvolvimento da cultura.

2.2 BREVE CONCEITO DE FUNGOS DE SOLO E CULTURA DA SOJA: *Fusarium spp.*

Os fungos do gênero *Fusarium* e a soja estabelecem uma interação ecológica de parasitismo. De acordo com Cardoso e Andreote (2016), essa interação de complexidade do sistema biológico de solo entre fungos patogênicos e plantas, pode ser chamada de simbiose antagônica, pois, os fungos invadem as plantas fazem as necroses nos tecidos e obtêm a sua energia a partir delas. Esse fenômeno biológico traz implicações que prejudicam o processo produtivo da soja e qualidade de suas sementes.

Brown e Proctor (2013) conceituam o grupo de fungos *Fusarium* como um gênero de fungos ascomicetos descrito pela primeira vez por Link em 1809 como *Fusisporium*. São numerosos e podem ser encontrados como patógenos endófitos e saprófitos, presentes em plantas e solo. Membros do gênero são notórios por suas capacidades como patógenos de plantas. A maioria produz um conjunto de metabólitos secundários, que variam amplamente na forma química, como por exemplo, micotoxinas que são tóxicas e/ou cancerígenas para humanos e animais domesticados.

Fungos do gênero *Fusarium* em interação com a soja causam a podridão vermelha da raiz, também conhecida como Síndrome da Morte Súbita da Soja (SDS), sigla do inglês “sudden death syndrome” que é uma enfermidade que afeta a produtividade da soja.

Em relação aos aspectos taxonômicos desses fungos causadores da Podridão Vermelha da Raiz, Wang e Chilvers (2016) esclarecem que o complexo de espécies *Fusarium solani* compreende três clados principais de fitopatógenos, os quais incluem espécies que causam a síndrome da morte súbita (SDS) da soja (*Glycine max*). Na América do Sul, *Fusarium brasiliense*, *Fusarium crassistipitatum*, *Fusarium tucumaniae* e *Fusarium virguliforme* foram relatados como causadores da síndrome de morte súbita da soja.

Segundo Henning *et al* (2014), no Brasil as principais espécies determinantes dessa doença de solo descrita na literatura biológica são *Fusarium brasiliense*, *Fusarium tucumaniae* e *Fusarium crassistipitatum* de ocorrência isoladas ou de forma generalizadas na lavoura. No Brasil, desde o seu surgimento na safra

1981/1982, a podridão vermelha da raiz tem causado preocupações aos produtores.

2.3 CAUSAS DO *FUSARIUM SPP.* NA CULTURA DA SOJA

A síndrome da morte súbita da soja ou podridão vermelha da raiz foi observada pela primeira vez no Brasil na safra de 1981/82 em São Gotardo, Minas Gerais e posteriormente no Distrito Federal (DIANESE, 2010). Essa doença é causada por fungos patogênicos de solo do gênero *Fusarium spp.* No Brasil, as principais espécies desse gênero associadas à Podridão Vermelha da Raiz apontadas por Henning (2014) destacam-se o *Fusarium brasiliense*, *F. tucumaniae* e *F. crassistipitatum*.

Fusarium spp. são fungos conidiais (RAVEN, 2011) e as características de base desse gênero de patógenos causador da Podridão Vermelha da raiz da soja, de acordo com Dianese (2010), está na morfologia dos conídios curvados, com três a cinco septos, levemente pontiagudos no ápice, que medem 4,0–6,5 μm x 42–74 μm . Conídios do micélio aéreo podem variar de raros a abundantes e os clamidósporos (esporos assexuados com parede espessa) têm formato globoso, podendo ser terminais ou intercalares.

O gênero *Fusarium* está entre um grupo de fungos importantes, por produzirem enzimas monoxigenases que convertem a pisatina (Tipo de fitoalexina, compostos envolvidos em mecanismo de defesa das plantas) da soja em uma substância menos tóxica. Assim, o fungo *Fusarium* utiliza as monoxigenases para desintoxicar certas substâncias da soja que poderiam-lhe ser prejudicial (RAVEN, 2011). E a luta química entre a soja e os *Fusarium spp.* no ataque que causa a Podridão Vermelha da raiz da soja mantém-se continuamente travada causando danos à produção da cultura da soja.

No que se refere ao processo de diferenciação das espécies de *Fusarium* causadoras da Podridão Vermelha da Raiz da Soja, Chinelato (2024), esclarece que essas espécies podem ser diferenciadas através das estruturas reprodutivas, crescimento das colônias e técnicas moleculares.

Sobre a distribuição geográfica de *Fusarium* no Brasil, Maier (2016), esclarece que os fungos patogênicos mais importantes associados a sementes de

soja foram *Fusarium spp.* (predominância de *F. semitectum*) encontrados no Rio Grande do Sul. Já no Estado de Mato Grosso, foram identificados 23 gêneros de fungos, sendo os encontrados com maior frequência *Fusarium semitectum*.

2.4 SINTOMAS DO *FUSARIUM SPP.* NA CULTURA DA SOJA

Fungos do gênero *Fusarium*, especificamente os causadores da podridão vermelha da raiz da soja, iniciam seu processo de sintomatologia através das raízes da soja, conforme Soares (2023):

A infecção na raiz inicia com uma mancha avermelhada, mais visível na raiz principal, geralmente localizada um a dois centímetros abaixo do nível do solo. Essa mancha expande-se, circunda a raiz e passa da coloração vermelho-arroxeadada para castanho-avermelhada a quase negra. O tecido lenhoso da haste, acima do nível do solo, adquire coloração castanho-clara. Na parte aérea, observa-se o amarelecimento prematuro das folhas e necrose entre as nervuras, resultando no sintoma conhecido como folha “carijó” (SOARES, 2023).

Além disso, o autor afirma que os sintomas podem ocorrer em reboleiras de plantas ou de forma generalizada na lavoura. A Figura 2 abaixo ilustra a sintomatologia da Podridão Vermelha da Raiz da Soja. À esquerda, folha com necroses entre as nervuras (folhas cariós) e à direita, raiz (podridão do sistema radicular) com as colorações típicas da PVR que passa da coloração vermelho-arroxeadada para castanho- -avermelhada a quase negra e acima do nível do solo, adquire coloração castanho-clara.

Figura 2: Folha e raiz com sintomas da Podridão Vermelha da Raiz causada pelo *Fusarium spp.*



FONTE: Álvaro Manuel Rodrigues Almeida (2023)

Na parte aérea as necroses se tornam visíveis (Figura 3). As folhas são danificadas pelas necroses.

Figura 3: Parte aérea da soja com necroses causadas pelo processo infeccioso do *Fusarium spp.*



FONTE: Álvaro Manuel Rodrigues Almeida (2023)

Nesse contexto, Chinelato (2024), destaca que esses sintomas da podridão vermelha da raiz interferem no processo de formação de vagens e grãos da soja, afeta o sistema radicular das plantas comprometendo a absorção de água e nutrientes, interferindo na taxa fotossintética. A Figura 3 apresenta como as folhas são danificadas pelas necroses e que pode interferir no processo fotossintético da soja, pois observa-se o amarelecimento prematuro das folhas.

Além disso, ocorre a diminuição do volume da nodulação, o lenho adquire coloração castanho clara, a medula permanece branca, o sistema radicular se torna menos vigoroso quando comparado com uma planta sadia e, as raízes vão apodrecendo. É possível observar os esporos da PVR que são pequenas manchas de coloração azulada na superfície da raiz principal, perto da linha do solo (SOARES, 2023).

A PVR da soja normalmente não é detectável na folhagem das plantas até o início da floração. Em circunstâncias raras, plantas mais jovens, podem apresentar sintomas de folhas “carijó”. É sempre útil comparar as plantas afetadas com plantas sadias do mesmo campo, quando se faz a avaliação da doença (WESTPHAL et al., 2008).

Quanto às dimensões dos prejuízos causados no cultivo da soja pela PVR, Dianese (2011), explica que depende do estágio fenológico da cultura, da extensão dos sintomas radiculares e do progresso da doença em relação às condições de desenvolvimento desses sintomas. Nesse contexto, o autor aponta que na cultura da soja, a doença pode atingir 27% de redução na produtividade, caso os primeiros sintomas foliares forem observados antes do estágio R5 de desenvolvimento da soja. Entretanto, se a doença se desenvolver em período de florescimento, as flores e vagens jovens podem ser abortadas, intensificando os índices de perdas. Em virtude disso, Dianese (2011) afirma que a Podridão Vermelha da Raiz atenua a produtividade da soja e, por isso, está entre as doenças responsáveis por perdas consideráveis na cultura da soja.

Efeitos diretos da presença do patógeno *Fusarium pallidoroseum* em sementes podem resultar em deterioração das plantas, perdas de germinação, redução do vigor, da emergência, do período de armazenamento e do rendimento da soja. (BARBOSA, 2021)

Entende-se que uma cultura de soja que tenha esse patógeno pode sofrer um ou mais desses efeitos. Pois, segundo Rissi (2022) esses sintomas reduzem drasticamente a nodulação, a capacidade de absorção de nitrogênio e produtividade.

2.5 PRÁTICAS DE MANEJO E CONTROLE DO *FUSARIUM* SSP. NA CULTURA DA SOJA

Gerenciar doenças nas raízes é uma tarefa bastante complexa, uma vez que os patógenos já estão acostumados ao meio subterrâneo. A infecção e as fases iniciais da doença frequentemente ocorrem abaixo da superfície, levando a uma identificação tardia, que só acontece quando a condição já se encontra em estágios mais avançados, tornando o manejo ainda mais desafiador.

Alguns patógenos podem sobreviver mesmo após a senescência da cultura, pois se alimentam dos restos culturais, fase do ciclo biológico chamada de saprôgenese, e é nesse estágio que o ambiente encontra-se menos conveniente para os patógenos, ficando mais suscetíveis às práticas do controle cultural (REIS; FORCELINI, 1995).

Com a finalidade de prevenir e de controlar o desenvolvimento e danos desses patógenos, são aplicadas algumas práticas de manejo e controles culturais, físicos, químicos e biológicos.

Meio às práticas culturais que podem ser utilizadas para o controle desse patógeno, está a utilização de plantios prévios de gramíneas em áreas infestadas, eliminando as populações de *Fusarium spp* (TOLEDO-SOUZA *et al.*, 2008). A prática da semeadura e época adequada, em especial aquelas que apresentam baixas temperaturas, inclusive evita a ocorrência e severidade de *Fusarium solani* (BACCHI; GOULART; DEGRANDE, 2001).

Segundo Venancio (2002), práticas que permitam melhores condições de drenagem de solo, um exato suprimento híbrido, são de grande importância para que a planta não fique sujeita ao ataque de fungos, mantendo também o cuidado para que as sementes não sejam levadas à regiões em que não há esses patógenos.

Assim sendo, as medidas utilizadas no controle cultural, tem por finalidade obstruir a ocorrência da doença ou até mesmo eliminar o agente de origem, mantendo as plantas saudáveis.

No método físico de controle, especificamente a termoterapia, é uma alternativa promissora para controlar doenças e plantas, incluindo *Fusarium spp.* em soja. A termoterapia utiliza a energia térmica para eliminar patógenos, seja interna ou externamente, sem causar danos significativos à planta (GHINI; BETTIOL, 1995).

Outros métodos físicos são utilizados como filmes plásticos de várias cores, tendo como objetivos principais, a conservação da umidade do solo e o controle de plantas daninhas, podendo promover mudanças na relação planta-patógeno (GHINI; BETTIOL, 2005).

Já no controle químico, percebe-se que há grande consumo mundial, no entanto, há uma carência de produtos capacitados para esse fim, devido a restrição dos seus mecanismos de ação e a maioria apresentam eficiência somente quando

aplicados de forma preventiva, perdendo então a efetividade após as plantas serem infectadas (SALES JR. et al., 2005).

As adversidades climáticas contribuem para o desenvolvimento da Podridão Vermelha da Raiz e sobre esses imprevistos. GOULART (2021), salienta que para minimizar impactos aos quais os produtores não possuem controle, eles precisam otimizar e ajustar esses fatores investindo em proteção inicial de fungicidas em tratamento de sementes. Pois, o *Fusarium spp.* está entre os patógenos relacionados aos problemas de emergência. A intensidade de infestação da doença e a influência do ambiente é possível causar resistência poligênica. Dessa forma, a inexistência de um método de controle químico ou cultural eficiente, torna-se uma preocupação para produtores de soja, técnicos e pesquisadores (FRONZA, 2003).

Os fungicidas apresentam um efeito temporário requerendo assim, mais aplicações durante o ciclo da cultura (LOUZADA et al., 2009). Os defensivos agrícolas, além de diminuir a produção e a qualidade de produtos devido à poluição decorrente do seu uso inadequado, afeta o meio ambiente, colocando em risco a saúde humana e animal (MACHADO et. al., 2006).

Para minimizar o uso dos agrotóxicos, o controle biológico é uma alternativa muito discutida (BAKER, 1989). O alvo debatido nos estudos de fitopatologistas é buscar organismos que apresentam resultados efetivos no controle de enfermidades de plantas (ROMERO, 2007).

Os agentes biológicos são capazes de estabelecer, colonizar e dispersar no ecossistema (LOUZADA et al., 2009). O gênero *Trichoderma* é um fungo não-patogênico utilizado para exercer o antagonismo a vários fitopatógenos através do parasitismo e/ou antibiose. Esse fungo tem sido utilizado com êxito como agente de biocontrole, promotores de crescimento e na evolução da germinação e sanidade de sementes (ETHUR et at., 2006). O *Trichoderma spp.* é conhecido por parasitar grande diversidade de fungos saprófitos e patogênicos (BAKER, 1989), podendo promover também um melhor crescimento das plantas, alastrando suas raízes e estimulando o crescimento e proteção contra infecções, resultando no aumento do desenvolvimento radicular, produtividade da cultura, resistência e estresse abióticos melhorando o uso de nutrientes (MACHADO, 2011).

Para Dianese (2010), as técnicas e métodos de controle do *Fusarium spp.* na cultura da soja que minimizam os prejuízos, são medidas como a utilização de

cultivares precoces. Salienta ainda que é preciso adotar práticas que corrijam e/ou evitem a compactação do solo e o acúmulo de umidade. Além disso, o autor ressalta que a aplicação de fungicidas no sulco durante o plantio ou o tratamento de sementes têm efeitos limitados para a redução da doença.

Para Freitas (2004), as práticas de controle que retardam a infecção inicial causada pelo *Fusarium spp.* são consideradas essenciais para uma redução de seu impacto sobre os componentes do rendimento de plantas de soja. Quando o processo infeccioso ocorre de forma rápida no período de florescimento é observada uma interferência no processo de formação de vagens e formação de grãos. Já, quando a infecção ocorre de forma lenta ou tardia, atingindo seu máximo no período de enchimento de grãos, é observada redução no número de vagens por planta, número de grãos por vagem e peso de mil grãos.

A figura 4 apresenta os quatros métodos de controle do *Fusarium spp.* em culturas de soja, vantagens e desvantagens de cada técnica.

Figura 4 - Controle e Manejo do *Fusarium spp.* na Soja

		CULTURAL	FÍSICO	QUÍMICO	BIOLÓGICO
	MÉTODO DE CONTROLE	• Rotação de cultura; • Manejo de solo; • Controle de inseto; • Irrigação racional.	• Termoterapia.	• Fungicida	• Fungos antagonistas; • Bactérias antagonistas.
	DESCRIÇÃO	• Altera culturas; • Uso de adubos, fertilizantes; • Controle de insetos que transmitem; • Uso eficaz de água.	• Uso do calor para eliminar.	• Uso de produto químico.	• Fungos benéficos; • Bactérias benéficas.
	VANTAGEM	• Reduz risco de doenças; • Melhora estrutura do solo.	• Não poluente, eficaz.	• Eficácia rápida.	• Não poluente, sustentável; • Reduz risco de doença.
	DESvantAGEM	• Planejamento necessário; • Custo adicional; • Investimento inicial; • Uso de pesticida.	• Investimento inicial,	• Risco de resistência;	• Eficácia variável.

Fonte: O autor (elaborado pelo autor com base na pesquisa desenvolvida).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho se caracteriza como uma atividade de pesquisa bibliográfica qualitativa realizada em livros, artigos, sites, teses, documentos e publicações buscando um embasamento sobre os efeitos da doença causada pelo *Fusarium spp.* na cultura da soja no Brasil e impactos na qualidade das sementes e na produtividade.

A primeira parte da realização deste trabalho foi o levantamento bibliográfico, seguida da leitura, análise e discussão desse referencial bibliográfico.

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Constata-se que a PVR da soja resulta de interações do *Fusarium spp.*, fungos patogênicos de solo em simbiose antagônica com a soja. É uma infecção que se inicia na raiz proliferando para a parte aérea da soja e dependendo da instabilidade climática, a sintomatologia interfere no desenvolvimento da planta e consequentemente na produtividade e qualidade das sementes de soja.

A cultura da soja encontra-se em posição privilegiada no agronegócio brasileiro e para garantir esse status é preciso manter/melhorar a produção e qualidade, procurando minimizar perdas causadas por doenças de solo. Uma dessas doenças que mais acometem a cultura da soja em território brasileiro é a podridão vermelha da raiz causada pelo patógeno *Fusarium spp.*

A pesquisa aponta que a PVR pode acarretar reduções severas em produtividade da soja, dependendo do desenvolvimento dos sintomas, do estágio fenológico da planta, da extensão dos sintomas radiculares, dos sintomas foliares e do progresso da doença a partir desses sintomas.

As adversidades dos fenômenos climáticos também potencializam a doença PVR na cultura da soja, pois mudanças climáticas de temperatura, umidade e luminosidade em excesso ou em falta, proporcionam um ambiente favorável ao desenvolvimento do *Fusarium spp.* em seu processo de infecção na soja.

A Podridão Vermelha da Raiz pode ter seus efeitos intensificados se houver outros fitopatógenos na cultura.

Verifica-se que o processo de patogenicidade do *Fusarium spp* vincula-se com condições ambientais da cultura da soja como umidade, compactação de solo,

disponibilidade de matéria orgânica, temperatura amenas e outros fatores climáticos. Para isso, o uso de materiais de reprodução com alto vigor e viabilidade, a operacionalização de uma boa prática de semeadura e o investimento em maior qualidade física, química e biológica do solo garantem um bom estabelecimento da cultura da soja

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cultura da soja coloca o Brasil em posição de destaque a nível mundial na produção do grão.

Fica evidenciado que infecções em soja causadas por espécies de *Fusarium spp.* resultam em redução de produtividade e perdas econômicas. A identificação da Podridão Vermelha da Raiz da soja baseia-se em características culturais observadas e na morfologia dos conídios observadas em laboratório.

Constata-se que os efeitos diretos da presença do *Fusarium spp.* em cultura de soja resultam em deterioração das plantas, perdas de germinação, redução do vigor, da emergência, do período de armazenamento e do rendimento da soja.

Verifica-se que algumas medidas preventivas podem ser adotadas para o controle da Podridão Vermelha da Raiz em cultura de soja que são a adoção de técnicas de melhoramento da qualidade física, química e biológica do solo visando controlar a umidade, compactação de solo e disponibilidade de matéria orgânica.

As principais técnicas e métodos de controle do *Fusarium spp.* na cultura da soja baseiam-se na rotação de cultura, manejo de solo, controle de inseto e irrigação racional – método cultural; termoterapia – controle físico; uso de fungicida – controle químico; uso de fungos antagonistas e bactérias antagonistas – controle biológico.

6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A pesquisa bibliográfica é fundamental para realização de trabalhos acadêmicos como esse. Mas, recomenda-se também a realização de uma pesquisa de campo por uma ou duas safras, o que enriqueceria em dados estatísticos as perdas e danos na cultura da soja causados por *Fusarium spp.*

7 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Álvaro Manuel Rodrigues. Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Plant Pathology, pesquisador aposentado da Embrapa Soja. In: SOARES, Rafael Moreira [et al]. Manual de identificação de doenças de soja. 6ª edição. Londrina: Embrapa Soja, 2023.

BAKER, R. Improved Tricoderma ssp. for promoting crop productivity. *Trends in Biotechnology*, v. 7, n. 3, p. 36, fev. 1989.

BARBOSA, Alexandre Donizeti. Eficácia de fungicidas em tratamento de sementes no controle de *Fusarium pallidoroseum* em relação ao tamanho de sementes na cultura da soja. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências Agronômicas. Botucatu, 2021.

BOSCHIERO, Beatriz Nastaro. *6 maiores produtores de soja do mundo: quando e quanto produzem?* Agroadvance. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-6-maiores-produtores-de-soja-do-mundo/> Acesso em 12/05/2024.

BROWN, Daren W. PROCTOR, Robert H. Genomics, Molecular and Cellular Biology. Caister Academic Press. 2013. Disponível em: <http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/5375/1/323.pdf>. Acessado em: 15/06/2024

CARDOSO, Elke Jurandy Bran Nogueira. ANDREOTE, Fernando Dini. Microbiologia do Solo. 2ª Edição. Piracicaba: São Paulo, 2016.

CHINELATO, Gressa. Como identificar e fazer o manejo adequado da podridão vermelha da raiz da soja. Aegro. 2024. Disponível: <https://blog.aegro.com.br/podridao-vermelha-da-raiz-da-soja/>. Acessado em: 10/06/2024.

CONAB, Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2023/24. 8º levantamento. Maio/2024. v.11, n.8. Brasília: Conab, 2024.

DIANESE, Alexei. SEIXAS, Cleudine Dinali Santos Seixas. COSTAMILAN, Leila Maria. (Pesquisadores da Embrapa). Podridão Vermelha da Raiz Limita Produtividade da Soja. Edição Novembro. Londrina: Embrapa, 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/49585/1/ID-32527.pdf> Acesso em: 13-04-2024

DIANESE, Alexei de Campos. NETO, Austeclínio Lopes de Farias. OLIVEIRA, Pablo Rogério Pereira de Melo. ALMEIDA, Álvaro Manuel Rodrigues. SEIXAS, Claudine Dinali Santos. Podridão Vermelha da Raiz (*Fusarium spp.*). Capítulo 1. p. 29-47. In: ALMEIDA, Álvaro Manuel Rodrigues. SEIXAS, Claudine Dinali Santos. *Soja: doenças radiculares e inter-relações com o manejo de solo e da cultura*. Londrina: Embrapa Soja, 2010.

ETHUR, L. Z.; DA ROCHA, E. .; MILANESI, P.; MUNIZ, M. F. B.; BLUME, E. Sanidade de sementes e emergência de plântulas de nabo forrageiro, aveia preta

e centeio submetidas a tratamento co bioprotetor e fungicida. *Ciência e natura*, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 17-27, 2006.

FREITAS, T. M. Q.; MENEGHETTI, R. C.; BALARDIN, R. S. Dano devido à podridão vermelha de raiz na cultura da soja. *Ciência Rural*, v.34, n.4, jul/ago, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/cLpR3zQyjk5t4j46YngQqhD/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10/01/2024.

FRONZA, V. *Genética da reação da soja a Fusarium solani f. sp. glycines*. 2003. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GHINI, Raquel; BETTIOL, Wagner. Controle Físico. In: BERGAMIN FILHO, Armando; KIMATI, Hiroshi; AMORIM, Lilian. Manual de Fitopatologia: Princípios e Conceitos. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres. 1995. v.1, p. 786-801.

GHINI, Raquel. Coletor Solar para a Desinfestação de Substratos para a Produção de Mudanças Sadias. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2004. (Embrapa Meio Ambiente. Circular Técnica, 4). Disponível em: http://www.sociedadedosol.org.br/wpcontent/uploads/2013/08/embrapa_circular_4.pdf. Acesso em: 28 out. 2024.

GODOY, Cláudia Vieira. SEIXAS, Claudine Dinali Santos. COSTAMILAN, Leila Maria. MEYER, Maurício Conrado. HENNING, Ademir Assis. ALMEIDA, Álvaro Manuel Rodrigues. YORINORI, José Tadashi. FERREIRA, Léo Pires. DIAS, Waldir Pereira. *Manual de identificação de doenças de soja*. 6. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2023

GOULART, Caroline. Contra os fungos. In: Caderno Técnico Cultivar Soja. Março de 2021. p.3-7. Disponível em: <https://assets.revistacultivar.com.br/arquivos/ebooks/eba694ad3d2eb5a9aafafcede6c425b8.pdf> Acesso em: 20/06/2024.

GOULART, A.C.P. Fungos em sementes de soja: detecção e importância. Dourados: EMBRAPA-CPAO, 1997.

HENNING, Ademir Assis [et al]. Manual de identificação de doenças de soja. 5ª ed. Londrina: Embrapa Soja, 2014.

LENNON, Seane. Cadeia de sementes de soja movimentou R\$ 33,6 bilhões. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/noticias/cadeia-de-sementes-de-soja-movimentou-r--33-6-bilhoes-na-safra-2022-23_491654.html#:~:text=O%20aumento%20m%C3%A9dio%20anual%20da,incremento%20de%20mais%20de%2030%25>. Acesso em: 24 nov. 2024.

LOUZADA, G. A. de S. et al. Antagonist potential of Tricoderma ssp. from district agricultural ecosystems against Sclerotinia sclerotiorum and Fusarium solani. *Biota Neotropica*, v. 9, n. 3, p. 145-149, 2009.

MAIER, Maira. Produtividade de semente de soja em diferentes sistemas de cultivos na região de Ponte Serrada SC. Santa Catarina: Lages, 2016.

MACHADO, J. da C. et al. Tratamento de sementes no controle de fitopatógenos e pragas. *Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE)*, 2006.

RISSI, Yuri Rafael. Fusarium solani na Cultura da soja. Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em: <https://www.ufsm.br/pet/agronomia/2022/05/10/fusarium-solani-na-cultura-da-soja>. Acessado em: 02/06/2024.

ROMEIRO, R. da S. Controle Biológico de Doenças de Plantas- Fundamentos. 1 ed. Viçosa: Ed. UFV, 2007. 269 p.

SALES JR., Rui et al. Controle Químico de Doenças Radiculares. In: MICHEREFF, Sami J.; ANDRADE, Domingos E. G. T.; MENEZES, Maria. Ecologia e Manejo de Patógenos Radiculares em Solos Tropicais. Recife-PE, 2005. p. 345-366. Disponível em: <http://ppgfito.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/45/2015/02/Michereff-et-al.-2005.pdf>. Acesso em: 28 out. 2024.

SOARES, Rafael Moreira [et al]. Manual de identificação de doenças de soja. 6ª edição. Londrina: Embrapa Soja, 2023.

TOLEDO-SOUZA, E. D. et al. Sistemas de cultivo, sucessões de culturas, densidade do solo e sobrevivência de patógenos de solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 43, n.8, p. 971-978, ago. 2008. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/582/5604>. Acesso em: 26 out. 2024.

VENANCIO, Wilson Story. Doenças causadas por fungos de solo na soja em plantio direto em campo nativo. 2002. 100 f. Tese (Doutor em Agronomia) Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Ciências Agrônômicas, Campus de Botucatu, Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Botucatu, 2002. Disponível em: http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/105469/venancio_ws_dr_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 26 out. 2024.

WANG, Jie. CHILVERS, Martin I. Desenvolvimento e caracterização de marcadores microsatélites para Fusarium virguliforme e sua utilidade dentro do clado 2 do complexo de espécies Fusarium solani. Ecologia Fungica. Volume 20, abril de 2016, páginas 7-14. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1754504815001270> Acesso em: 30/05/2024.