

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ- REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS-
AGRONOMIA- CAMPUS RIO VERDE**

IARA GUIMARÃES SILVA

**DISTRIBUIÇÃO POPULACIONAL DE PATÓGENOS
RADICULARES E BIOINDICADORES DE QUALIDADE DE SOLO**

**RIO VERDE – GO
2021**

IARA GUIMARÃES SILVA

**DISTRIBUIÇÃO POPULACIONAL DE PATÓGENOS
RADICULARES E BIOINDICADORES DE QUALIDADE DE SOLO**

Dissertação apresentada a Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia do Instituto Federal Goiano como exigência parcial para obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Alaerson Maia Geraldine.

**RIO VERDE- GO
2021**

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- Tese Artigo Científico
 Dissertação Capítulo de Livro
 Monografia – Especialização Livro
 TCC - Graduação Trabalho Apresentado em Evento
 Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____

Nome Completo do Autor: Iara Guimarães Silva.

Matrícula: 2019202310140038.

Título do Trabalho: Distribuição populacional de patógenos radiculares e bioindicadores de qualidade de solo.

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 30/11/2021

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

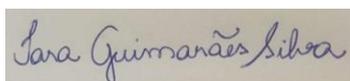
O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

1. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
2. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
3. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde, 30/11/2021.
Local Data



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Alamir Maia geraldino

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
 MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
 SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO
 FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 91/2021 - NREPG-RV/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA Nº/195
BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos trinta dias do mês de setembro do ano de dois mil e vinte e um, às 14:00h (quatorze horas), reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: Prof. Dr. Alaerson Maia Geraldine (Orientador), Prof.^a Dra. Darliane de Castro Santos (Avaliadora interna), Prof.^a Dra. Priscila Ferreira dos Santos Goulart (Avaliadora externa) e Prof. Dr. Eugenio Miranda Sperandio (Avaliador interno) sob a presidência do(a) primeiro(a), em sessão pública realizada por vídeo conferência do IF Goiano – Campus Rio Verde, para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, de autoria de **IARA GUIMARÃES SILVA** discente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora Prof. Dr. Alaerson Maia Geraldine, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida a (o) autor (a) da Dissertação para, em 40 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o (a) examinado (a), tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, e procedidas às correções recomendadas, a Dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS-AGRONOMIA**, na área de concentração Produção Vegetal Sustentável no Cerrado, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGCA-AGRO da versão definitiva da Dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, esta ata perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60** (sessenta) dias da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Dissertação em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação de Mestrado, e para constar, eu, Vanilda Maria Campos, secretária do PPGCA-AGRO, lavrei a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora em duas vias de igual teor.

Prof. Dr. Alaerson Maia Geraldine (Presidente)

Prof.^a Dra. Darliane de Castro Santos (Avaliadora interna)

Prof.^a Dra. Priscila Ferreira dos Santos Goulart (Avaliadora externa) Prof. Dr. Eugenio Miranda

Sperandio (Avaliador interno)

Documento assinado eletronicamente por:

- **Priscila Ferreira dos Santos Goulart, Priscila Ferreira dos Santos Goulart - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano (1)**, em 27/10/2021 12:17:00. **Eugenio Miranda Sperandio, 2019102331540209 - Discente**, em 05/10/2021 17:10:32.
- **Darlíane de Castro Santos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 05/10/2021 17:09:38.
- **Alaerson Maia Geraldine, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 05/10/2021 16:58:16.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 05/10/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse

<https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 314952



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

C

ampus Rio Verde Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural,
None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sua misericórdia se renovar a cada manhã em minha vida e por esta razão permitir chegar até aqui.

Aos meus pais, Ivalda e Antônio, são meu maior exemplo de força e dedicação. Ao meu irmão, Iago e minha cunhada Bianca, por me incentivarem e apoiarem nos momentos difíceis.

Certa vez um sábio disse que, o que importa não é a chegada e sim o caminho. O caminho que traçamos para chegar até aqui, Demily, Gabriel, Jessica, Larissa, Thamires, Icaro, Leandro, Emanuel e Janison, foi desafiador.

Demily, foi grande mentora me ouviu nos dias de desespero, apoiou e embarcou de cabeça neste projeto comigo.

Gabriel, esteve presente do início ao fim, sempre pronto a ajudar, ouvir, dizendo que tudo ficaria bem.

Jessica, não importava a hora sempre estava lá para o que precisasse, fosse dia ou noite me tranquilizando quando eu não podia estar presente no laboratório, cuidou do meu trabalho como se fosse dela.

Larissa, Thamires e Ícaro foram grandes parceiros se esforçaram preparando materiais, pesando solo para usarmos nas análises.

Leandro e Janison foram responsáveis pelas coletas de solo, andaram longas distâncias, coletaram com sol e chuva.

Emanuel me ajudou a lidar com o grande volume de dados, e sempre tentando me animar.

Meu orientador Alaerson, que não poupou esforços para conseguir subsídio para o projeto e toda a estrutura necessária para que não só eu, mas todos os seus orientados pudessem realizar seus projetos. Saiba que seu trabalho que por vezes não pode não ser visto externamente, mas, nos que tivemos a oportunidade de trabalhar com o senhor reconhecemos e somos gratos por seu esforço.

Ao meu coorientador Eugenio, serei sempre grata pelas dicas, conselhos e pela amizade.

Aos meus amigos Eide e Júlio, pelo apoio mesmo a distância foram presentes.

Vocês fizeram minha caminhada mais feliz, leve e me ensinaram o valor do trabalho em equipe e por isso serei eternamente grata. Sinto-me imensamente abençoada por Deus por ter vocês em minha vida.

Agradeço também ao Grupo Associado de Pesquisa do Sudoeste Goiano-GAPES, Agrivalle e Koppert, pelas contribuições para que o projeto fosse realizado, ao IF-Goiano, ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias e a CAPES, pela concessão da bolsa.

BIOGRAFIA DO AUTOR

IARA GUIMARÃES SILVA, filha de Ivalda Pereira Guimarães da Silva e Antônio Ademilson Afonso da Silva, nasceu no dia 19 de novembro de 1996, na cidade de Rio Verde-GO.

Em março de 2014, ingressou no curso de Bacharel em Agronomia pelo Instituto Federal Goiano- Campus Rio Verde- Goiás, graduando-se em fevereiro de 2019.

Em agosto de 2019, iniciou no curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias- Agronomia, no Instituto Federal Goiano- Campus Rio Verde, sob orientação do Professor Alaerson Maia Geraldine.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE TABELAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES	viii
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO GERAL	15
1.2. PATÓGENOS CAUSADORES DE PODRIDÃO RADICULAR	15
1.3 QUALIDADE DO SOLO USANDO ENZIMAS COMO INDICADOR 17	17
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
3. INTRODUÇÃO	23
4. MATERIAL E MÉTODOS	24
4.1 Determinação da densidade de microescleródios de <i>M. phaseolina</i>	26
4.2. Quantificação de <i>Fusarium solani</i> e <i>Fusarium oxysporum</i>	26
4.3. Isca Quali-quantitativa para <i>Rhizoctonia solani</i>	27
4.4. Quantificação de beta-glicosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase	27
4.4.1. Extração e determinação do p-nitrofenol liberado pela atividade de β-glicosidase	27
4.4.2. Extração e determinação do p-nitrofenol liberado pela atividade de fosfatase ácida	28
4.4.3. Extração e determinação do p-nitrofenol liberado pela atividade de arilsulfatase	28
4.5 Análise de risco	29
4.6. Análise dos resultados	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
6. CONCLUSÃO	40
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Municípios com alto índice de produção de soja segundo Levantamento Sistemático da Produção Agrícola para o estado de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, no período de 2018 a 2020, selecionados para amostragem de solo durante a safra da soja 2019/2020.. **25**

Tabela 2: Níveis de risco de ocorrência de *F. solani*, *F. oxysporum*, *R. solani* e *M. phaseolina* em áreas de produção de grãos de soja no estado de Goiás, baseados em valores de UFC por grama de solo encontrado nas amostras de solo. Erro! Indicador não definido.

Tabela 3: Níveis enzimáticos de referência para arilsulfatase, fosfatase ácida e beta-glicosidase aplicados ao estado de Goiás de acordo com Andrios Assessoria, 2015.. Erro! Indicador não definido.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Incidência de *Fusarium solani*, *Fusarium oxysporum* e *Rhizoctonia solani*, agrupados por níveis de risco muito alto, alto, moderado, baixo, em regiões produtoras de grãos de soja na região Centro-Oeste, durante a safra 2020/2021..**Erro! Indicador não definido.**

Figura 2. Porcentagem de *Fusarium solani*, *Fusarium oxysporum* e *Rhizoctonia solani*, por níveis de zero, baixo, moderado, alto e muito alto, avaliados em municípios da região Centro-Oeste durante a safra 2020/2021, produtoras de soja. 31

Figura 3. Incidência média de microescleródios/g⁻¹ de solo de *Macrophomina phaseolina*, agrupados por níveis de risco de ocorrência baixo, moderado, alto e muito alto, em regiões produtoras de grãos de soja da região Centro-Oeste, durante a safra 2020/2021. **Erro! Indicador não definido.**

Figura 4. Porcentagem de indivíduos por nível de risco de ocorrência de *Macrophomina. phaseolina*, avaliados durante a safra 2020/2021, em regiões produtoras de soja.. 33

Figura 5. Níveis enzimáticos para arilsulfatase em amostras de solo em regiões produtoras de soja, na região Centro-Oeste, durante a safra 2020/2021. Os parâmetros avaliados foram fornecidos pela Andrios Assessoria, 2015..**Erro! Indicador não definido.**

Figura 6. Níveis enzimáticos para fosfatase ácida em amostras de solo em regiões produtoras de soja, no região Centro-Oeste, durante a safra 2020/2021. Parâmetros fornecidos pela Andrios Assessoria, 2015..... **Erro! Indicador não definido.**

Figura 7. Níveis enzimáticos para beta-glicosidase em amostras de solo em regiões produtoras de soja, na região Centro-Oeste, durante a safra 2020/2021. Parâmetros fornecidos pela Andrios Assessoria, 2015..... **Erro! Indicador não definido.**

Figura 8. Análise de componentes principais aplicados para avaliar interação de *R. solani*, *M. phaseolina*, *F. solani*, *F. oxysporum*, as enzimas arilsulfatase, β-glicosidase, fosfatase ácida e produtividade. **Erro! Indicador não definido.**

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

BDA	batata-dextrose-ágar
β	letra grega beta
cm	centímetro
CaCl ₂	cloreto de cálcio
<i>F. oxysporum</i>	<i>Fusarium oxysporum</i>
<i>F. solani</i>	<i>Fusarium solani</i>
Gramas	gramas
°C	graus Celsius
NaOH	hidróxido de sódio
H	Hora
K	komada
<i>M. phaseolina</i>	<i>Macrophomina phaseolina</i>
m	metro
μ L	microlitros
μ g	micrograma
ml	mililitro
mg g ⁻¹ solo h ⁻¹	miligrama por grama de solo por hora
MUB	modified universal buffer
M	molar
X	multiplicação
Nm	nanômetro
NS	nash & snyder

PNF	para-nitrofenolfosfato
PNG	para-nitrofenolglicopiranosideo
Ppm	parte por milhão
Mesh	peneira
pH	potencial hidrogeniônico
%	por cento
<i>R. solani</i>	<i>Rhizoctoni solani</i>
Rpm	rotação por minuto
THAM	tris-hidroxiaminometano
UV	Ultravioleta
UFC g ⁻¹	unidade formadora de colônia por grama

RESUMO

SILVA, IARA GUIMARÃES. Instituto Federal Goiano-Campus Rio Verde- GO, agosto de 2021. **Distribuição populacional de patógenos radiculares e bioindicadores de qualidade de solo.** Orientador: Dr. Alaerson Maia Geraldine, coorientador: Dr. Eugenio Miranda Sperandio e Leonardo de Castro Santos.

RESUMO - *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani*, *Rhizoctonia solani* e *Macrophomina phaseolina* são doenças vinculadas pelo solo. Estudos relacionados à distribuição geográfica desses fungos auxiliam na predição de possíveis epidemias. No estado de Goiás, estudos dessa natureza são extremamente restritos. Objetivou-se conhecer a dinâmica populacional desses microrganismos e sua relação com enzimas indicadoras da qualidade do solo em municípios produtores de soja no estado de Goiás, sendo avaliados 23 municípios selecionados em função de metanálise avaliando a produção de grãos durante a safra 2020/21. Foram coletadas 127 amostras para quantificação das populações de *Fusarium solani*, *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani* e *Macrophomina phaseolina* e 70 foram avaliadas a atividade enzimática de arilsulfatase, fosfatase ácida e beta-glicosidase. Para as 70 amostras avaliadas quanto atividade enzimática e a quantificação populacional foi realizada análise de componentes principais. Com base nos valores de populações encontrados, as amostras foram agrupadas e gerada uma tabela que apresenta o risco de ocorrência de cada doença, sendo que *F. solani* e *F. oxysporum* e *R. solani* foram tratadas como fator de ocorrência conjuntas. A análise de componentes principais demonstrou interação entre beta-glicosidase e *Fusarium*. De acordo com o observado os solos não desempenham seu máximo potencial produtivo, devido ao desequilíbrio na microbiota aferido pela atividade enzimática e incidência de patógenos.

PALAVRAS-CHAVES: Atividade, microescleródio, fator de risco.

ABSTRACT

SILVA, IARA GUIMARÃES. Instituto Federal Goiano-Campus Rio Verde-GO, agosto de 2021. **Distribuição populacional de patógenos radiculares e bioindicadores de qualidade de solo.** Orientador: Dr. Alaerson Maia Geraldine, coorientador: Dr. Eugenio Miranda Sperandio e Leonardo de Castro Santos.

Fusarium oxysporum, *Fusarium solani*, *Rhizoctonia solani* and *Macrophomina phaseolina* are soil-related diseases. Studies related to the geographic distribution of these fungi help to predict possible epidemics. In the state of Goiás, studies of this nature are extremely restricted. The objective was to understand the population dynamics of these microorganisms and their relationship with enzymes that indicate soil quality in soybean producing municipalities in the state of Goiás. 23 selected municipalities were evaluated based on a meta-analysis evaluating grain production during the 2020/21 harvest. 127 samples were collected to quantify the populations of *Fusarium solani*, *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani* and *Macrophomina phaseolina* and 70 were evaluated for enzymatic activity of arylsulfatase, acid phosphatase and beta-glucosidase. For the 70 samples evaluated for enzymatic activity and population quantification, principal component analysis was performed. Based on the population values found, the samples were grouped and a table was generated showing the risk of occurrence of each disease, with *F. solani* and *F. oxysporum* and *R. solani* being treated as a joint occurrence factor. Principal component analysis showed an interaction between beta-glucosidase and *Fusarium*. According to what was observed, the soils do not perform their maximum productive potential, due to the imbalance in the microbiota measured by the enzymatic activity and the incidence of pathogens.

KEY WORDS: Activity, microsclerotia, risk factor.

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1. PATÓGENOS CAUSADORES DE PODRIDÃO RADICULAR

Os patógenos causadores de podridão radicular ocorrem de maneira generalizada, em todo o mundo e em grande gama de hospedeiros (BODAH, 2017). O sintoma de podridão da raiz da soja pode ser desencadeado por diversos patógenos como *Fusarium solani* (COSTA *et al.*, 2016), *Fusarium oxysporum* (DÍAZ ARIAS *et al.*, 2013), *Rhizoctonia solani* (AJAYI-OYETUNDE; BRADLEY, 2018) e *Macrophomina phaseolina* (COSER *et al.*, 2017). Podendo ocorrer dentro de um complexo, ou seja, em conjunto com outros patógenos ou de maneira isolada.

F. solani, *F. oxysporum*, *R. solani* e *M. phaseolina* são particularmente mais complexos, em função de suas estruturas de sobrevivência. Essas estruturas podem permanecer viáveis no solo por vários anos e são de difícil detecção, tornando obscurecida as variáveis que controlam os processos de infecção e de epidemias (JIMENEZ, 2011). O progresso da doença bem como a severidade, sofrem grande influência das interações entre o ambiente, hospedeiro e patógeno (BODAH, 2017).

A podridão do carvão causada por *Macrophomina phaseolina* pertence ao filo Ascomycota, família Botryosphaeriaceae (Mycobank, 2021). Esse fungo possui micélio uninucleado, contudo, as células da extremidade do micélio sejam multinucleadas (knox-davies 1967). Existe ainda a produção de picnídios marrom escuro, de maneira agregada ou solitária (HOLLIDAY, PUNITHALINGAN, 1970). Os conídios são hialinos, formato podendo ser oval a elipsoide (HOLLIDAY, PUNITHALINGAN, 1970).

A principal forma de sobrevivência do patógeno *M. phaseolina* é de microescleródio. Os microescleródios são estruturas negras e lisas, medindo a cerca de

100 µm de diâmetro (KOLLIDAY, PUNITHALINGAN, 1970). São estruturas duras, capazes de sobreviver em condições adversas. São encontrados em abundância na região do colo e raiz da planta. Podem germinar em períodos diferentes, dessa forma, infectando a planta em diversos estádios de desenvolvimento do hospedeiro (ALMEIDA *et al.*, 2014).

Os sintomas desencadeados pela podridão do carvão podem surgir em diferentes estádios de desenvolvimento do hospedeiro. As lesões são de cor marrom escura no colo da planta, quando surgem durante a emergência. A severidade da doença é consideravelmente maior em condições de baixa umidade e alta temperatura (ALMEIDA, SEIXAS, 2010).

Já *Rhizoctonia solani*, como *M. phaseolina* são fungos necrotróficos. Sua forma sexuada é chamada de *Thanatephorus cucumeris* (Frank) (OGOSHI, 1987), a forma assexuada possui ampla gama de hospedeiros. Os sintomas são variados como, podridão de sementes e a raiz, cancro do caule, ferrugem de mudas e principalmente morte pré e pós-emergência (AJAYI-OYETUNDE; BRADLEY, 2018).

Atualmente, a espécie é dividida em grupos de anastomose e dentro de cada grupo existem subgrupos (GONZALEZ, *et al.*, 2015). A divisão entre grupos de anastomose é baseada na existência de fusão entre hifas (CARLING, KUNINAGA, LEINER, 1987). A divisão foi estabelecida para agrupar indivíduos semelhantes e facilitar a condução de estudos futuros (SOUZA *et al.*, 2007).

Condições de alta umidade e baixa temperatura, são favoráveis ao desenvolvimento de *R. solani* Kousik e colaboradores (1995) aponta que a temperatura ideal do patógeno no hipocótilo de mudas de soja, para AG-1 foi de 25°C, enquanto para AG-5 foi de 20°C (AJAYI-OYETUNDE; BRADLEY, 2018). Outro fato que dificulta o controle está relacionado com a existência de hospedeiros alternativos, como plantas daninhas (OSHIMA, LIVINGSTON, HARRISON, 1963).

Quanto a podridão de raiz causada por *Fusarium*, a doença foi considerada uma das mais destrutivas em quase todos os locais de produção no mundo (DÍAZ ARIAS *et al.*, 2013). Já foram relatadas mais de 20 espécies patogênicas para a cultura da soja (GÁSPERI; PRESTES; COSTAMILAN, 2003). O complexo *Fusarium* é principalmente composto por *Fusarium solani* e *Fusarium oxysporum* (NAEEM *et al.*, 2019).

Diversas espécies de *Fusarium* podem afetar a soja em quase todos os estágios de crescimento, os sintomas são caracterizados por queima de mudas, podridão de vagens, podridão de sementes e raízes (GARCIA *et al.*, 2012, BARROS *et al.*, 2012, DÍAZ

ARIAS *et al.*, 2013). Sua associação com outros patógenos pode contribuir para o aumento da severidade da doença, com ocorre com *Heterodera glycines* (WESTPHAL *et al.*, 2014).

1.2 ENZIMAS COMO INDICADORAS DE QUALIDADE DO SOLO

Segundo Doran e Parkin (1994), qualidade do solo pode ser definida como a capacidade do solo de manter a atividade biológica, a qualidade ambiental e da planta dentro de um ecossistema. Nos últimos anos inúmeros estudos têm sido desenvolvidos acerca do assunto visando um atributo comum a todos os tipos de solo e que seja de simples aferição, sensível o suficiente as rápidas mudanças que ocorrem no solo, e, assim foi proposto o uso de enzimas como indicadores de qualidade do solo (DICK, 1984).

As enzimas catalisam reações químicas e estão presentes na ciclagem de nutrientes (LADD, 1978), ou seja, no solo transformam nutrientes em formas assimiláveis pelas plantas (BALOTA *et al.*, 2013). São encontradas em coloides de argila, matéria orgânica ou em células (TABATABAI, 1994, BOYD e MORTLAND, 1990). Não é possível determinar quantas enzimas existem no solo, contudo, sabe-se que as práticas agrícolas, exercem influência em sua atividade (DICK, 1984). Dentre o grande número de enzimas presentes no solo três receberam destaque: Arilsulfatase, β -glicosidase e fosfatase ácida.

A enzima arilsulfatase participa do ciclo do enxofre (S) no solo (NOGUEIRA e MELO, 2003). A atividade da enzima no solo é reduzida de acordo com a profundidade que está presente e com a redução da matéria orgânica (BALIGAR *et al.*, 1988). A arilsulfatase é uma enzima considerada indicadora de intensidade de mineralização de ésteres de sulfato orgânico (KOTKOVÁ *et al.*, 2008).

A β -glicosidase pode ser encontrada em plantas, microrganismos e animais, atuando no final do processo de decomposição de celulose (TABATABAI, 1994), considerada importante fonte de energia (MAKOI e NDAKIDEMI, 2008). Em solos degradados, sua atividade é menor em função da menor quantidade de glicose disponível no solo (STOTT *et al.*, 2010).

O papel das fosfatases é catalisar a hidrólise de ésteres fosfato, recebem grande influência do pH do solo, temperatura e matéria orgânica. (TABATABAI, 1994). Speir (1991) relata que a atividade de fosfatase ácida pode ser utilizada com indicador de

deficiência de P. Estudos acerca dessa enzima em específico são mais recorrentes, haja vista que grande parte das áreas cultivadas no país possuem solo ácidos (BALOTA *et al.*, 2013).

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AJAYI-OYETUNDE, O O; BRADLEY, C A. *Rhizoctonia solani*: taxonomy, population biology and management of *rhizoctonia* seedling disease of soybean. **Plant Pathology**, v. 67, 2018.
- ALMEIDA, A. M. R.; SEIXAS, C. D. S.; FARIAS, J. R. B.; OLIVEIRA, M. C. N.;FRANCHINI, J. C.; DEBIASI. H.; COSTA, J. M.; GAUDÊNCIO, C. A. (2014) *Macrophomina phaseolina* em soja. Londrina: Embrapa Soja, 55 p, 2014.
- ALMEIDA, A. M. R.; SEIXAS, C. D. S. Soja: doenças radiculares e de hastes e inter-relações com o manejo do solo e da cultura. Primeira edição. Londrina – Embrapa Soja. P.49-63, 2010.
- BALIGAR, V. C.; WRIGHT, R. J.; SMEDLEY, M. D. Enzyme activities in hill land soils of the appalachian region. **Communications in Soil Science and PlantAnalysis**, v. 19, 1988.
- BALOTA, E. L.; NOGUEIRA, M. A.; MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; FAGOTTI, D. S. L.; MELO, G. M. P.; SOUZA, R. C.; MELO, W. J. Enzimas e seu papel na qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 8, 2013.
- BARROS, G.; ALANIZ ZANON, M. S.; ABOD, A.; OVIEDO, M. S.; RAMIREZ, M. L.; REYNOSO, M. M.; TORRES, A.; CHULZE, S. Natural deoxynivalenol occurrence and genotype and chemotype determination of a field population of the fusarium graminearum complex associated with soybean in Argentina. Food additives and contaminants - Part A chemistry, Analysis, control, exposure and risk assessment, v. 29, 2012.
- BODAH, T. E. Root Rot Diseases in Plants: A Review of Common Causal Agents and Management Strategies. *Agricultural Research & Technology: Open Access24 Journal*, v. 5, 2017.
- BOYD, S.A., MORTLAND, M.M. Enzyme interactions with clays and clay-organic matter complexes. In: Bollag, J.M., Stotzky, G. (Eds.), *Soil Biochemistry*. Marcel Dekker, New York, p. 1-28, 1990.
- CARLING, D.E.; KUNINAGA, S.; LEINER, R.H. Relatedness within and among intraspecific groups of *Rhizoctonia solani*: A comparison of grouping by anastomosis and by DNA hybridization. **Phytoparasitica**, v.16, 1988.
- COSER, S. M.; REDDY, R. V.C.; ZHANG, J.; MUELLER, D. S.; MENGISTU, A.; WISE, K. A.; ALLEN, T. W.; SINGH, A.; SINGH, A. K. Genetic architecture of charcoal rot (*Macrophomina phaseolina*) resistance in soybean revealed using a diverse panel. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 2017.
- COSTA, N. L.; SANTANA, A. C. Estudo da concentração de mercado ao longo da cadeia produtiva da soja no Brasil. **Revista de Estudos Sociais**, v. 16, 2014.

- COSTA, S. S.; Matos, K. S.; Tessmann, D. J.; Seixas, C. D.S.; Pfenning, L. H. *Fusarium paranaense* sp. nov., a member of the *Fusarium solani* species complex causes root rot on soybean in Brazil. **Fungal Biology**, v. 120, 2016.
- CUIABANO, M. S. Principais fatores responsáveis pela expansão da soja no Brasil. *Brazilian Journal of International Relations*, v. 8, 2019.
- DÍAZ ARIAS, M. M.; MUNKVOLD, G. P.; ELLIS, M. L.; LEANDRO, L. F. S. Distribution and frequency of *Fusarium* species associated with soybean roots in Iowa. **Plant Disease**, v. 97, 2013.
- DICK, W. A. Influence of long-term tillage and crop rotation combinations on soil enzyme activities. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, 1984.
- ESCHER, F.; WILKINSON, J. A economia política do complexo Soja-Carne Brasil-China. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 57, 2019.
- EMBRAPA. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro. Londrina Embrapa Soja. 70p. 2014
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistical database. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/data>. Acesso em: abr. 2019.
- GARCIA, D.; BARROS, G.; CHULZE, S.; RAMOS, A. J.; SANCHIS, V.; MARÍN, S. Impact of cycling temperatures on *Fusarium verticillioides* and *Fusarium graminearum* growth and mycotoxins production in soybean. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, 2012.
- GÁSPERI, A. C.; PRESTES, A. M.; COSTAMILAN, L. M. Reação de cultivares de Soja à podridão vermelha da raiz causada por *Fusarium solani* f. sp. *glycines*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 28, 2003.
- GONZALEZ, D.; CARLING, D. E.; KUNINAGA, S.; VILGALYS, R.; CUBETA, M. A. Ribosomal DNA systematics of *Ceratobasidium* and *Thanatephorus* with *Rhizoctonia anamorphs*. **Mycologia**, v. 93, 2015.
- HOLLIDAY, P.; PUNITHALINGAN, E. *Macrophomina phaseolina*. CMI Descriptions of pathogenic fungi and bacteria, n. 275, 1970.
- JIMENEZ, D. R. C. Influence of soils, nutrition, and water relations upon charcoal rot disease processes in Kansas. 2011. 137 f. Thesis (Master of Science in Plant Pathology) - College of Agriculture, Kansas State University, Kansas, 2011.
- LADD, J.N. Origin and range of enzymes in soil. In: Burns, R.G. (Ed.), **Soil Enzymes**. Academic Press, London, p. 51-96, 1978.
- KOUSIK, C. S.; SNOW, J. P.; BERGGREN, G. T.; HARVILLE, B. G. Effect of temperature on virulence of *Rhizoctonia solani* on soybean leaves and seedlings. **Plant Pathology**, v. 44, 1995.

KOTKOVÁ, B.; BALÍK, J.; CERNY, M.; KULHÁNEK, M.; BAZALOVÁ, M. Crop influence on mobile sulphur content and arylsulphatase activity in the plant rhizosphere. *Plant, Soil and Environment*, v. 54, 2008.

MAKOI, J. H. J. R.; NDAKIDEMI. Selected soil enzymes: Examples of their potential roles in the ecosystem. *African Journal of Biotechnology*, v. 7, 2008.

NAEEM, M.; LI, H.; YAN, L.; RAZA, M. A.; GONG, G.; CHEN, H.; YANG, C.; ZHANG, M.; SHANG, J.; LIU, T.; CHEN, W.; ABBAS, M. F.; IRSHAD, G.; KHASKHELI, M. I.; YANG, W.; CHANG, X. Characterization and pathogenicity of *Fusarium* species associated with soybean pods in maize/soybean strip intercropping. *Pathogens*, v. 8, 2019.

NOGUEIRA, M. A.; MELO, W. J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, 2003.

OGOSHI, A. Ecology and pathogenicity of anastomosis and intraspecific groups of *Rhizoctonia solani* Kühn. *Annual Review of Phytopathology*, Palo Alto, v.25, 1987.

OSHIMA, N.; LIVINGSTON, C. H.; HARRISON, M. D. Weeds as carriers of two pathogens in Colorado. *Plant Disease*, v. 47, 1963.

PAULITZ, T C; SCHROEDER, K L. A new method for the quantification of *Rhizoctonia solani* and *R. oryzae* from soil. *Plant Disease*, v. 89, 2005.

SEDIYAMA, T. Origem e evolução. In. SEDIYAMA, T. Melhoramento genético da Soja. Londrina, Editora Mecnas, p. 352, 2015.

SOUZA, E. C.; KURAMAE, E. E.; NAKATANI, A. K.; BASSETO, M. A.; PRABHU, A. S.; CERESINI, P. C. Caracterização citomorfológica, cultural, molecular e patogênica de *Rhizoctonia solani* Kühn associado ao arroz em Tocantins, Brasil. *Summa Phytopathologica*, v. 33, 2007.

SPEIR, T. W.; COWLING, J. C. Phosphatase activities of pasture plants and soils: Relationship with plant productivity and soil P fertility indices. *Biology and Fertility of Soils*, v. 12, 1991.

STOTT, D. E.; ANDREWS, S. S.; LIEBIG, M. A.; WIENHOLD, B. J.; KARLEN, D. L. Evaluation of β -Glucosidase Activity as a Soil Quality Indicator for the Soil Management Assessment Framework. *Soil Science Society of America Journal*, v.74, 2010.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: R. W. Weaver et al. (ed.). Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, 1994.

WESTPHAL, A.; LI, C.; XING, L.; MCKAY, A.; MALVICK, D. Contributions of *Fusarium virguliforme* and *Heterodera glycines* to the Disease Complex of Sudden Death Syndrome of Soybean. **Plos One**, v. 9, 2014.

3. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento do mercado externo contribuiu com a alta produção da soja [*Glycine max* (L.) Merrill], provocado pela expansão do consumo do grão e dos subprodutos da leguminosa (SANTOS *et al.*, 2021). A produção da safra 2020/2021 foi de 134.451,1 mil toneladas, 7,7% a mais em relação à safra anterior (“CONAB - Boletim da Safra de Grãos”, 2020).

Assim, como as demais espécies cultivadas, a soja é acometida por inúmeros problemas fitossanitários que podem resultar na redução da produtividade (ROTH *et al.*, 2021). Os fungos *Macrophomina phaseolina*, *Rhizoctonia solani* Kühn (teleomorfo: *Thanatephorus cucumeris* (Frank) Donk e algumas espécies de *Fusarium*, como *F. solani* e *F. oxysporum* são os causadores de algumas das doenças mais importantes da cultura da soja (ALLEN *et al.*, 2017). As doenças do solo, oriundas da ação desses microrganismos, está intrinsicamente associada com a natureza do solo, que segundo Baker e Cook (1974) pode ser supressivo ou condutivo.

A ação dos patógenos em solo supressivo pode ocorrer de três maneiras distintas: quando ele não consegue se estabelecer; quando se estabelece, mas não causa a doença; quando se estabelece, provoca a doença, porém com baixa severidade (JAYARAMAN *et al.*, 2021). Nesse cenário, essas três formas de ação ocorrem em razão de fatores físico-químicos do solo, associada a estratégias de manejo empregadas (PANG *et al.*, 2017). Um dos fatores mais comuns para a ação dos fungos no solo é o monocultivo e práticas agrícolas incorretas, que provoca desestabilização e redução na microbiota do solo, tornando-o um condutivo (WEI *et al.*, 2019), sendo esse, mais comum em áreas agrícolas.

O complexo de doenças causadas por *Macrophomina phaseolina*, *Rhizoctonia solani* e *Fusarium* spp., são responsáveis por diversas perdas, quando ocorrem concomitantemente em diversas culturas (SABATÉ *et al.*, 2017; NASCIMENTO *et al.*,

2018; KHAN *et al.*, 2019), os patógenos produzem estruturas de resistência capazes de sobreviver no solo na ausência do hospedeiro, fator que dificulta o controle das doenças em campo (ARASTEHFAR *et al.*, 2020; PÉREZ *et al.*, 2021).

Conhecer a distribuição geográfica desses fungos contribui com a predição de possíveis epidemias, além de permitir a pesquisadores e produtores a oportunidade de desenvolver ações que atenuem o impacto na produtividade (ISLAM *et al.*, 2012). No Brasil, especificamente em Goiás, os relatos são extremamente restritos, sendo que a nível de país as pesquisas desenvolvidas se concentram na severidade das doenças e não na distribuição dos patógenos.

Enzimas como fosfatase ácida, beta-glicosidase e arilsulfatase, atualmente têm sido utilizadas como indicadores da qualidade do solo, em função de sua sensibilidade as mudanças. Através dessas enzimas é possível identificar alterações no solo provenientes do sistema de manejo (MENDES *et al.*, 2021). A interação entre patógenos e a atividade enzimática no solo ainda é pouco conhecida, contudo estudos apontam a síntese de beta-glicosidase por *Fusarium* (RAZA *et al.*, 2011 e CHRISTAKOPOULOS *et al.*, 1994).

Objetivou-se com este estudo conhecer a dinâmica populacional de *M. phaseolina*, *F. oxysporum*, *F. solani* e *Rhizoctonia solani* e a interação com enzimas do solo em municípios produtores de soja no estado de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Bem como estimar os níveis de risco de ocorrência de cada doença estudada.

4. MATERIAL E MÉTODOS

A determinação das áreas para amostragem de solo foi feita mediante o Levantamento Sistemático da Produção Agrícola no período de 2018 a 2020, informado na plataforma do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) por meio do banco de metadados, SIDRA. Nesse banco de dados é possível encontrar dados de produção de todos os municípios do país. Por meio desses dados foram selecionados os municípios com maior produção no estado de Goiás. As amostras foram coletadas em 23 municípios do estado de Goiás (Tabela 1), o número de amostras coletado variou de acordo com o tamanho da área amostral. Posteriormente, as amostras de solo foram enviadas para análise no Laboratório de Fitopatologia do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Goiás, Brasil.

Tabela 1: Municípios com alto índice de produção de soja segundo Levantamento Sistemático da Produção Agrícola para o estado de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, no período de 2018 a 2020, selecionados para amostragem de solo durante a safra da soja 2019/2020.

Município	Códigos	Total de amostras
Água Boa	AB1	1
Aloândia	AL1	1
Amorinópolis	AN1 - AN3	3
Cabeceiras	CB1 e CB2	2
Caiapônia	CP1 - CP17	17
Campo Alegre	CA1	1
Catalão	CL1 e CL2	2
Chapadão do Céu	CC1	1
Chapadão do Sul	CS1 e CS2	2
Cristalina	CT1 - CT4	4
Edealina	EN1 e EN2	2
Jataí	JT1 - JT7	17
Maurilândia	MD1	1
Montes Claros de Goiás	MC1 - MC6	6
Montividiu	MV1 - MV19	19
Planaltina	PL1	1
Quirinópolis	QN1 - QN3	3
Ribeirão Cascalheira	RC1	1
Rio Verde	RV1 - RV35	35
Santa Helena de Goiás	SH1	1
São João D'Aliança	SA1	1
Vicentinópolis	VP1	1
Vila Rica	VR1	1

Para compor uma amostra composta, quatro amostras simples foram coletadas na profundidade de 0 a 10 cm, sendo duas coletas na linha de plantio e duas nas entrelinhas. As amostras foram armazenadas em geladeira a 10°C, a cerca de dez dias até o processamento.

4.1 Determinação da densidade de microescleródios de *M. phaseolina* (MIHAIL e ALCORN (1982) adaptada

A densidade de microloescleródio de *M. phaseolina* das amostras de solo foi determinada de acordo com a metodologia de Mihail e Alcorn (1982) adaptada. Inicialmente, 100 g de solo foi pesado e seco em temperatura ambiente para posterior peneiramento, utilizando peneira com malha de 60 mesh. Cinco gramas do solo peneirado foram colocados em um Erlenmeyer de 500 mL e logo após acrescentado 250 mL de uma solução de hipoclorito de sódio a 0,5%. A mistura foi agitada por 10 minutos a 120 rpm.

O líquido em suspensão foi vertido em uma peneira de 400 mesh, e lavado em água, o resíduo retido na malha da peneira foi transferido para tubo falcon. Em câmara de fluxo laminar horizontal, FilterFlux modelo: FLH, o meio de cultura foi misturado ao conteúdo do tubo e transferido para três placas de Petri autoclavadas.

Foi utilizado o meio de cultura BDA (batata, dextrose, ágar) com a adição de 1000 µL de um agente dispersante Triton X-100 para cada 500 mL de meio BDA, adicionado antes do processo de autoclavagem.

As placas foram incubadas a 33°C, sem fotoperíodo, por dez dias. A determinação da densidade de microescleródios de *M. phaseolina* foi feita pela soma da quantidade de colônias por placa de Petri dividido por cinco (referente a 5 gramas de solo). O resultado foi expresso em microescleródios por grama de solo.

4.2. Quantificação de *Fusarium solani* e *Fusarium oxysporum*

Para a quantificação de *F. solani* e *F. oxysporum*, 10 g de solo foram adicionados em Erlenmeyer que continham 90 mL de água destilada e autoclavada. As amostras foram agitadas em mesa agitadora de bancada para solos SL-183/DT por 40 minutos a 120 rpm. Em câmara de fluxo laminar horizontal, FilterFlux modelo: FLH foram realizadas duas diluições, até 10⁻².

Foi transferido 1 mL da solução do segundo tubo de ensaio para placas de Petri e acrescentado a cerca de 5 mL de meio de cultura semisseletivos, Nash & Snyder (NS) para *Fusarium solani* e Komada (K) para *Fusarium oxysporum*. Cada amostra foi quantificada para a *F. solani* e *F. oxysporum*, feitas em triplicata. As amostras foram incubadas a 25°C por 12 horas de fotoperíodo por cinco dias. A avaliação foi feita pela contagem do número de colônias por placa e o resultado expresso em UFC/ g de solo.

4.3. Isca Quali-quantitativa para *Rhizoctonia solani* (PAULITZ e SCHROEDER (2005).

De cada amostragem realizada, 100 g de solo foram pesadas em caixas do tipo gerbox. Em câmara de fluxo laminar horizontal, FilterFlux modelo: FLH, 15 fragmentos de palitos de dente, de forma que os fragmentos estivessem completamente cobertos de solo, foram distribuídos de maneira uniforme nas caixas.

As caixas foram incubadas por 24 horas, na ausência de fotoperíodo. Em seguida foi realizada a tríplice lavagem dos palitos em álcool por 1 minuto, hipoclorito de sódio 1.000 ppm (0,1%) por 40 segundos e água destilada autoclavada por 1 minuto e transferidos para três placas de Petri, cada uma continha cinco palitos de dente. As placas foram incubadas a 25°C, fotoperíodo de 12 horas por 24 horas.

As avaliações foram feitas em microscópio óptico Zeiss, modelo: Primo Star, em resolução de amplitude de 40 x, através da presença de três características no micélio do fungo: ângulo de 90°, constrição e septação. O resultado foi expresso em porcentagem de propágulo do patógeno presente na amostra capaz de infectar o hospedeiro.

4.4. Quantificação de beta-glicosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase (TABATABAI, 1994)

Para a análise de β -glicosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase foram selecionadas 70 amostras de solo ao acaso e enviadas para o Laboratório de Microbiologia da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, São Paulo, Brasil. Seguindo a metodologia de Tabatabai (1994) a determinação das enzimas se dá pela liberação do p -nitrofenol, detectado por colorimetria. Cada amostragem foi feita em triplicata, com dois controles negativos.

4.4.1. Extração e determinação do p -nitrofenol liberado pela atividade de β -glicosidase (TABATABAI, 1994)

Foi pesado 1 g de solo fresco, de cada amostra, sem resíduos orgânicos e transferido para tubo falcon. Em seguida, adicionou-se 4 mL de tampão universal (MUB) pH 6,0 e 1 mL do substrato (PNG 0,05 M), este último exceto no controle. Os frascos foram agitados em vórtex por cinco segundos. As amostras foram incubadas por uma hora a 37°C, posteriormente agitados, inclinados, a 230 rpm.

Cessou-se a reação enzimática com a adição de 4 mL de NaOH 0,5 M. Adicionou-se 1 mL de CaCl₂ 0,5 M para a precipitação do solo e 1 mL de PNF ao controle, os tubos foram agitados em vórtex por cinco segundos e em seguida centrifugados por 5 minutos a 4400 rpm na centrífuga. A leitura foi efetuada a 420 nm, em espectrofotômetro UV – VIS modelo Hach, e os resultados expressos em $\mu\text{g g}^{-1}$ solo h^{-1} , realizados através do coeficiente de absorbância.

4.4.2. Extração e determinação do p-nitrofenol liberado pela atividade de fosfatase ácida (TABATABAI, 1994)

Foi pesado aproximadamente 0,5 g de solo fresco sem residuais orgânicos e transferidos para tubo falcon. Em seguida, adicionou-se 4 mL de tampão universal (MUB) pH 6,5 e 1 mL do substrato (PNG 0,05 M), este último exceto no controle. Os frascos foram agitados em vórtex por cinco segundos. As amostras foram incubadas por uma hora a 37°C, posteriormente agitados, inclinados a 230 rpm.

Cessou-se a reação enzimática com a adição de 4 mL de NaOH 0,5 M, somente então se adicionou 1 mL de CaCl₂ 0,5 M para a precipitação do solo e 1 mL de PNF aos controles, os tubos foram agitados em vórtex por cinco segundos. Os tubos foram centrifugados por 5 minutos a 4400 rpm na centrífuga. Em seguida, foi efetuada a leitura a 420 nm em espectrofotômetro UV – VIS modelo Hach, e os resultados expressos em $\mu\text{g g}^{-1}$ solo h^{-1} , realizados através do coeficiente de absorbância.

4.4.3. Extração e determinação do p-nitrofenol liberado pela atividade de arilsulfatase (TABATABAI, 1994)

Foi pesado aproximadamente 1g de solo fresco sem residuais orgânicos e transferidos para tubo falcon. Em seguida, adicionou-se 4 mL de tampão acetato de sódio pH 5,8 e 1 mL do substrato (PNS 50 mM), este último exceto no controle. Os frascos foram agitados em vórtex por cinco segundos. As amostras foram incubadas por uma hora a 37 °C, posteriormente agitados, inclinados, a 230 rpm.

Cessou-se a reação enzimática com a adição de 1 mL de CaCl₂ 0,5 M, somente então se adicionou 4 mL de NaOH 0,5 M os tubos foram agitados em vórtex por cinco

segundos. O conteúdo foi filtrado em papel de filtro. Em seguida, foi efetuada a leitura a 410 nm em espectrofotômetro UV – VIS modelo Hach e os resultados expressos em mg g⁻¹ solo h⁻¹, realizados através do coeficiente de absorvância.

4.5 Análise de risco

Para que fosse possível estabelecer níveis de risco de ocorrência das doenças, foi realizado uma metanálise com base em trabalhos conduzidos em condições ambientais semelhantes e que estudassem os mesmos fungos. O parâmetro de risco para ocorrência de *Fusarium* foi baseado no estudo de Costa-Coelho e Costa, 2004. A partir dos valores encontrados em outros estudos, os valores de incidência apresentados aqui foram agrupados em muito alto, alto, moderado e baixo e zero (Tabela 2). Em função do grande número de relatos da ocorrência de *Fusarium* e *Rhizoctonia* foi estabelecido critério por fator triplo, ou seja, mesmo tempo. Para *M. phaseolina* foi estabelecido com critério único. Os níveis enzimáticos de referência foram definidos de acordo com Andrios Assessoria, 2015.

Tabela 2: Níveis de risco de ocorrência de *F. solani*, *F. oxysporum*, *R. solani* e *M. phaseolina* em áreas de produção de grãos de soja no estado de Goiás, baseados em valores de UFC por grama de solo encontrado nas amostras de solo.

Níveis de risco	Critério por fator triplo	Critério para <i>M. phaseolina</i>
Muito alto	<i>F. solani</i> ou <i>F. oxysporum</i> superior a 3000 UFC.g ⁻¹ de solo e <i>R. solani</i> superior a 50%.	Superior a 80 microescleródios.g ⁻¹ de solo.
Alto	<i>F. solani</i> ou <i>F. oxysporum</i> superior a 3000 UFC.g ⁻¹ de solo e <i>R. solani</i> inferior a 50%.	Entre 40 e 80 microescleródios.g ⁻¹ de solo.

Moderado	<i>F. solani</i> ou <i>F. oxysporum</i> entre 3000 e 1500 UFC.g ⁻¹ de solo e <i>R. solani</i> inferior a 50%.	Entre 20 e 40 microescleródios.g ⁻¹ de solo.
Baixo	<i>F. solani</i> ou <i>F. oxysporum</i> inferior a 1500 UFC.g ⁻¹ de solo e <i>R. solani</i> inferior a 50%.	Inferior a 20 microescleródios.g ⁻¹ de solo.
Zero	0	0

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 3: Níveis enzimáticos de referência para arilsulfatase, fosfatase ácida e beta-glicosidase aplicados ao estado de Goiás de acordo com Andrios Assessoria, 2015.

Enzima	Baixo	Médio	Alto
Arilsulfatase	Inferior a 75	Entre 76 e 109	Acima de 110
Fofatase ácida	Inferior a 28	Entre 288 e 525	Acima de 526
Beta-glicosidase	Inferior a 66	Entre 67 e 110	Acima de 111

Fonte: Andrios Assessoria, 2015.

4.6. Análise dos resultados

Os dados de incidência obtidos foram submetidos a análise descritiva, agrupados conforme os parâmetros muito alto, alto, moderado, baixo e zero, a atividade enzimática foi caracterizada conforme Andrios Assessoria, 2015 e os gráficos gerados pelo software SigmaPlot ®. A análise de componentes principais avaliando a incidência dos patógenos, atividade enzimática e produtividade foi gerado no software R .

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram quantificadas 127 amostras de solo quanto a presença de *F. solani*, *F. oxysporum*, *R. solani* e *M. phaseolina*, dessas, 70 foram analisadas quanto aos níveis de arilsulfatase, fosfatase ácida e β -glicosidase. Os resultados relacionados a incidência dos patógenos foram agrupados e classificados quanto aos níveis de risco de ocorrência das doenças.

Quanto à incidência dos fungos *F. solani*, *F. oxysporum* e *R. solani* foi adotado o critério de fator triplo e a partir desse definido as classificações quanto aos níveis de risco (Tabela 2). A interação desses patógenos é muito comum e já foi estudada por vários autores e em diversas culturas (ARORA & DWVEDI, 1980, COSTA & COSTA, 2007, NASERI, 2013, YIN *et al.*, 2020,). Para a classificação de risco da *M. phaseolina*, optou-se por avaliá-la isoladamente (Tabela 2). Khan e colaboradores (2019), observaram interação da *Macrophomina phaseolina* com *Rhizoctonia solani* em seu estudo, entretanto, no presente trabalho essa interação não foi identificada.

Das amostras analisadas constataram que os indivíduos, quanto aos níveis de risco, não apresentaram homogeneidade. Somente 6% dos locais avaliados não continham estruturas de *F. solani*, *F. oxysporum* e *R. solani*, enquanto 19% foram classificados com o risco muito alto de ocorrer podridão radicular (Figura 1). Contudo, é necessário considerar todos os componentes que compõem o triângulo da doença. As áreas avaliadas se enquadram em sua maioria 46%, com o risco moderado de ocorrer concomitantemente a presença desses três fungos e consequentemente os danos na cultura (Figura 1).

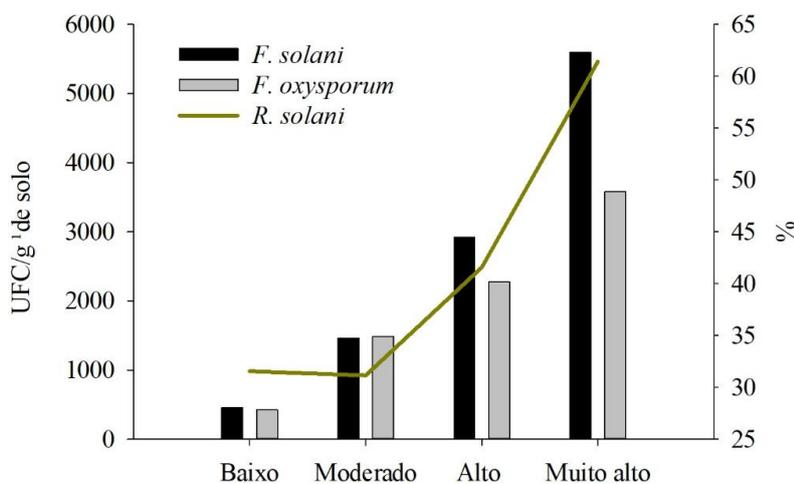


Figura 1. Incidência de *Fusarium solani*, *Fusarium oxysporum* e *Rhizoctonia solani*, agrupados por níveis de risco muito alto, alto, moderado, baixo, em regiões produtoras de grãos de soja na região Centro-Oeste, durante a safra 2020/2021.

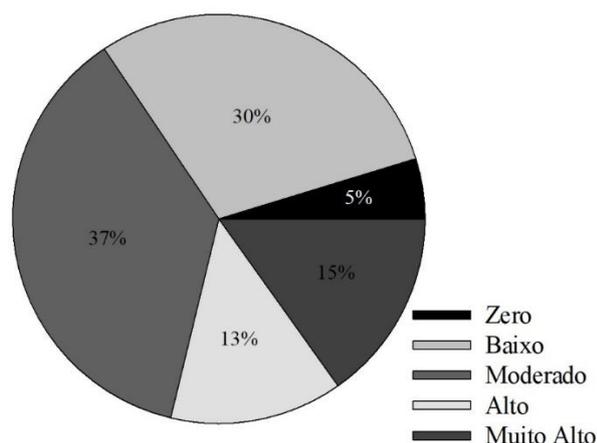


Figura 2. Porcentagem de *Fusarium solani*, *Fusarium oxysporum* e *Rhizoctonia solani*, por níveis de zero, baixo, moderado, alto e muito alto, avaliados em municípios da região Centro-Oeste durante a safra 2020/2021, produtoras de soja.

Costa-Coelho e Costa (2004) avaliando áreas cultivadas por feijão, no Brasil, chegaram à conclusão de que valores superiores a 3.000 UFC.g⁻¹/solo, de espécies de *Fusarium* são suficientes para causar podridão radicular. Em Santa Maria, RS – Brasil, (ALMEIDA *et al.*, 2008) avaliando diversos genótipos de soja na presença de espécies de *Fusarium* defrontaram com níveis de 1,2⁻⁷ a 2,0⁻⁶ UFC/g⁻¹ de solo.

Em 1993, Damicone e colaboradores avaliaram áreas produtoras de soja e constataram que a densidade máxima de inóculo de *Rhizoctonia* encontrado foi de 96,5 microescleródios.g⁻¹/solo, valor esse semelhante a quantidade de propágulos viáveis encontrados neste estudo. O plantio direto aliado a baixas temperaturas favorece o desenvolvimento de podridão radicular causada por *R. solani* (SMILEY e UDDIN, 1993; YIN *et al.*, 2020), contudo essa relação não foi observada neste estudo.

Um estudo realizado em Ontário, Canadá, relata que desde 2006 houve surgimento frequente de diversas espécies de *Fusarium* e *Rhizoctonia* juntas, dentre elas o *F. solani*, *F. oxysporum* e *R. solani*, em raízes de plantas de soja (ZHANG *et al.*, 2013). A ocorrência simultânea desses microrganismos é comum. Souza (2006) e Porto (2019) demonstraram que a incidência de *R. solani* favorece o desenvolvimento de *F. solani* e *F. oxysporum*, reforçando o observado neste estudo. Essa coexistência ocorre porque as lesões provocadas pela infestação de *R. solani* nas raízes das plantas, torna-se uma abertura para o *Fusarium* também colonizar as raízes do hospedeiro. Em 1988, Datnoff, em estudo similar, alegou que não se sabe qual é o patógeno primário nesse tipo de situação, entretanto, em estudos recentes (TOLÊDO-SOUZA *et al.*, 2009) observou que *F. oxysporum*, por exemplo, tende a infectar mais as raízes na presença de *R. solani*.

Quando se trata de podridão radicular decorrente da ação desses patógenos, outros fatores relacionados ao cultivo são relevantes na severidade da doença, como fatores climáticos, manejo do solo, fertilidade, entre outros (SHAH *et al.*, 2013; SPOLTI e PONTE, 2015). Esse grupo de patógenos especialmente, sofrem grande influência dos fatores anteriormente citados. Louzada e colaboradores (2008) apontam que o aumento da densidade do solo favorece o aumento da população de *Fusarium*, de maneira semelhantes, Harris e colaboradores (2003) verificaram a mesma relação da densidade do solo com a população de *R. solani*. Informações quanto ao manejo do solo, doença e nutrição, dificilmente são obtidas.

Dos locais amostrados neste estudo, quanto a quantificação de *M. phaseolina*, apenas 13% das áreas não apresentaram estruturas do fungo e 7% com risco muito alto de ocorrer podridão do carvão, a probabilidade de ocorrer a doença se concentrou em níveis moderado e baixo (Figura 3 e 4).

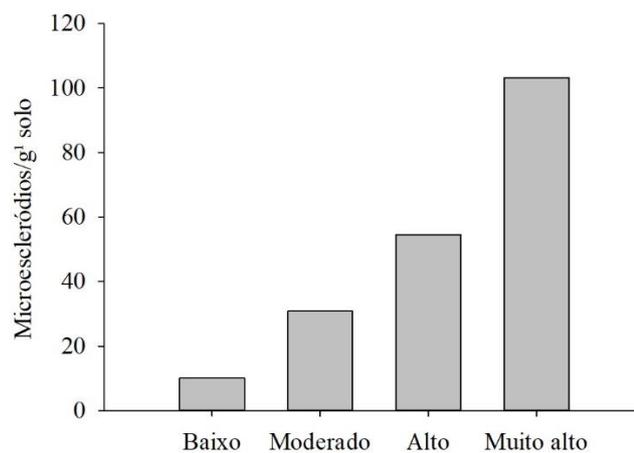


Figura 3. Incidência média de microescleródios/g⁻¹ de solo de *Macrophomina phaseolina*, agrupados por níveis de risco de ocorrência baixo, moderado, alto e muito alto, em regiões produtoras de grãos de soja da região Centro-Oeste, durante a safra 2020/2021.

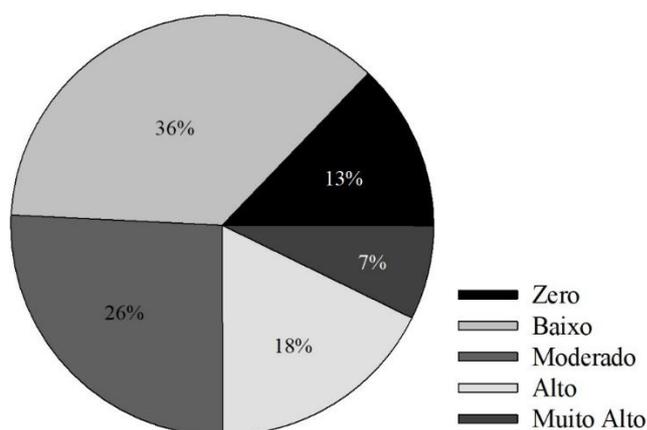


Figura 4. Porcentagem de indivíduos por nível de risco de ocorrência de *Macrophomina. phaseolina*, avaliados durante a safra 2020/2021, em regiões produtoras de soja.

A podridão do carvão causada por *M. phaseolina* é considerado um patógeno emergente (KAUR *et al.*, 2012). A severidade da doença está fortemente relacionada com a temperatura e seca (MENGISTU *et al.*, 2011). A quantidade de inóculo viável presente no solo também é grande indicativo da gravidade com que a doença irá ocorrer (MICHEREFF; ANDRADE; MENEZES, 2005). Nos Estados Unidos foi possível observar diferença significativa entre isolados provenientes do Norte em relação a isolados do Sul quanto a patogenicidade (SEXTON; HUGHES; WISE, 2016). Essa mesma relação não foi observada neste estudo, por causa do número de amostragem não ser homogêneo entre as regiões.

Em diversas províncias do Paquistão, estudos foram conduzidos avaliando o número de unidade formadora de colônia de *M. phaseolina* no solo e planta. No segundo ano do estudo a quantidade máxima de UFC/g⁻¹ solo contabilizada no solo foi de 41,37 e o mínimo de 14,8 (WAGAN *et al.*, 2019). No estado do Rio Grande do Sul, de forma semelhante foi avaliado o crescimento em solo e planta, os valores para o solo estavam entre 4,8 e 6,0 UFC/g⁻¹ solo, enquanto nos tecidos de soja variaram de 156 a 1108 UFC/g⁻¹ solo (REIS; BOARETTO; DANELLI, 2014). Na Espanha, a incidência e distribuição de *M. phaseolina* foram avaliadas ao longo de três anos, sendo constatado que dos 163 locais amostrados, 76 apresentavam a doença provocada pelo fungo (JIMENEZ-DIAZ, BLANCO-LOPEZ e SACKSTON, 1983), os autores concluíram ao final da sua pesquisa que houve aumento na incidência do patógeno ao longo do tempo, esse fato provavelmente está relacionado com a produção de estruturas de sobrevivência pelo fungo. Estudos a longo prazo podem contribuir para elucidar essas relações.

As enzimas arilsulfatase, beta-glicosidase e fosfata ácida, juntamente com outros fatores auxiliam na determinação da qualidade do solo (LISBOA *et al.*, 2012), tornando sua avaliação de grande importância para o desenvolvimento de um sistema agrícola sustentável. Recentemente a Embrapa desenvolveu uma tecnologia chamada de BioAs. A proposta foi acrescentar a análises químicas e físicas do solo, análises biológicas. Essa análise biológica nada mais é que a avaliação da atividade de arilsulfatase e beta-glicosidase, pois estas estão relacionadas ao potencial produtivo do solo (MENDES *et al.*, 2018).

Observou-se que para os níveis de risco enzimático, o sul goiano teve maior número de locais com essa incidência em relação as demais regiões do estado. Os valores de referência para as enzimas avaliadas no presente trabalho foram determinados com base em resultados de análises de mais de 900 amostras de solo do estado de Goiás .

A arilsulfatase está diretamente relacionada com o carbono presente no solo e em condições de baixa disponibilidade de enxofre no solo ela passa a ser liberada por microrganismo (MCGILL e COLLE, 1981, HAYNES, 1999). Dentre as amostras analisadas, 29% apresentaram níveis inferiores a $75 \text{ mg g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ para arilsulfatase, 71% tiveram níveis médios e não houve valores altos (Figura 5). Os níveis de arilsulfatase no solo são impactados por fatores como o tipo de preparo de solo empregado (LISBOA *et al.*, 2012), o cultivo com pastagens (BANDICK e DICK, 1999) condições climáticas, como períodos chuvosos tendem a aumentar a atividade enzimática (MENDES *et al.*, 1999), mediante esses fatores, os valores constatados nas amostragens realizadas neste estudo corroboram com os já descritos anteriormente, haja vista que as coletas foram realizadas em períodos de seca e em áreas que não adotam o uso de pastagens.

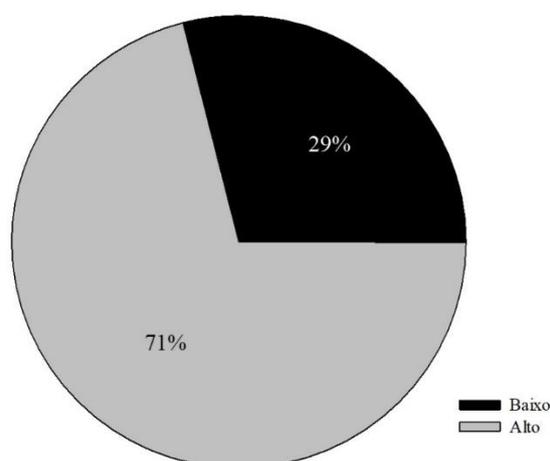


Figura 5. Níveis enzimáticos para arilsulfatase em amostras de solo em regiões produtoras de soja, na região Centro-Oeste, durante a safra 2020/2021. Os parâmetros avaliados foram fornecidos pela Andrios Assessoria, 2015.

Quanto a fosfatase ácida, 16% das amostras apresentaram níveis altos, em média 579,18 mg g⁻¹ solo h⁻¹, 64% apresentaram níveis médio e 20% níveis baixos (Figura 6.). Assim, como para a enzima arilsulfatase, o sistema de plantio direto aliado a teores elevados de matéria orgânica favorecem a atividade de fosfatase ácida (MENDES, I. C. *et al.*, 2003). Em solos cultivados, a atividade máxima de fosfatase ácida encontrado foi de 600 µg de p-nitrofenol mesmo com o aumento da aplicação de fósforo (CONTE; ANGHINONI; RHEINHEIMER, 2002). De acordo com Souza e colaboradores (2016), solos do cerrado cultivados em plantio direto apresentavam 812,09 mg g⁻¹ solo h⁻¹ de atividade da enzima, 621,13 mg g⁻¹ solo h⁻¹ em sistema de plantio convencional e 824,58 mg g⁻¹ solo h⁻¹ em área de Cerrado nativo.

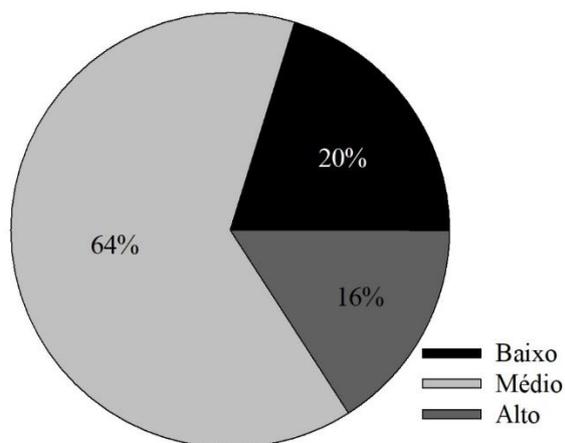


Figura 6. Níveis enzimáticos para fosfatase ácida em amostras de solo em regiões produtoras de soja, no região Centro-Oeste, durante a safra 2020/2021. Parâmetros fornecidos pela Andrios Assessoria, 2015.

Para a atividade de beta-glicosidase, 70% das amostras testadas apresentaram valores médios, com o valor máximo observado de 110,9 mg g⁻¹ solo h⁻¹ e apenas 4% apresentaram baixos níveis (Figura 7), 26% valores altos e 4% valores baixos. Dentre os inúmeros fatores que afetam sua atividade, destacam a quantidade e origem da matéria orgânica e pH do solo (MENDES, I. de C.; JUNIOR; REIS, 2004, EKENLER e TABATABAI, 2003). Foi observada redução a cerca de 44% em sua atividade quando

comparando a agricultura anual e áreas florestais, de modo semelhante foi observado para agricultura perene, em que a redução foi de 33% (SILVA *et al.*, 2012).

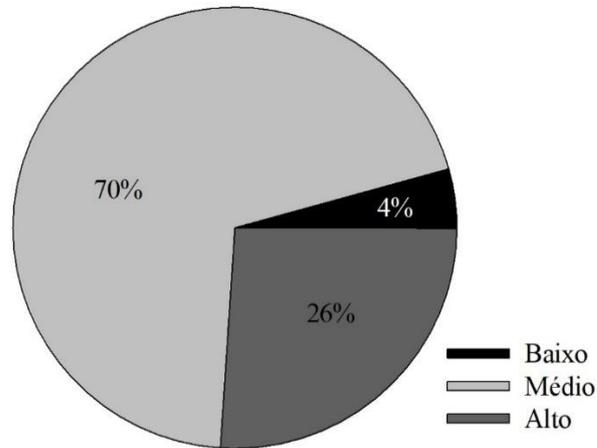


Figura 7. Níveis enzimáticos para beta-glicosidase em amostras de solo em regiões produtoras de soja, na região Centro-Oeste, durante a safra 2020/2021. Parâmetros fornecidos pela Andrios Assessoria, 2015.

Para avaliar a interação entre as variáveis patogênicas e enzimáticas do solo foi realizada análise de componente principal (PCA) (Figura 8). Observou-se que as variáveis FA (fosfatase ácida), ARIL (arilsulfatase) e produtividade estão positivamente relacionadas entre si. Esse comportamento pode ser explicado em função da participação da fosfatase na liberação de ésteres de fosfato e ainda por grande parte dos solos do Brasil serem ácidos. Enquanto a arilsulfatase está ligada ao ciclo do enxofre, componente importante para mineralização da matéria orgânica.

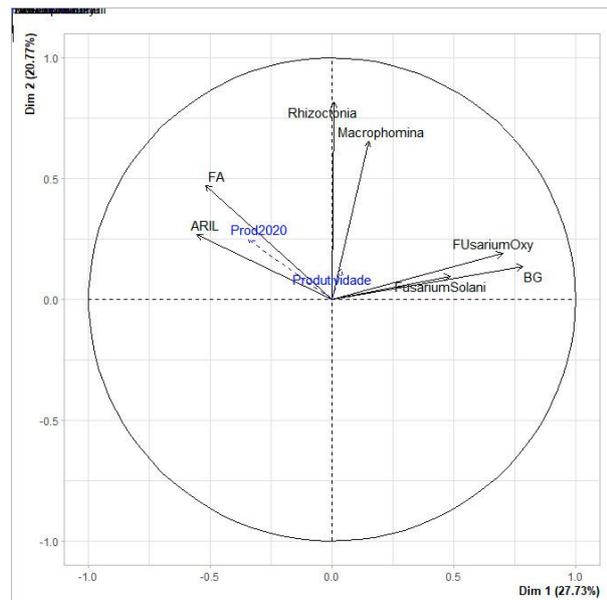


Figura 8. Análise de componentes principais aplicados para avaliar interação de *R. solani*, *M. phaseolina*, *F. solani*, *F. oxysporum*, as enzimas arilsulfatase, β -glicosidase, fosfatase ácida e produtividade.

A matéria orgânica, dentro do complexo sistema que é o solo, desempenha papel fundamental na melhoria de qualidades físicas, biológicas e químicas do solo (OUÉDRAOGO, BRUSSAARD, STROOSNIJDER, 2007). Solos ricos em matéria orgânica e com acidez corrigida podem elevar a produtividade em até 1000%. Contudo, esses resultados não são obtidos a curto prazo (EDMEADES, 2003). A utilização de fertilizantes inorgânicos em mistura com material orgânicos favorece o aumento de carbono orgânica no solo (LIU *et al.*, 2013).

A supressividade do solo está relacionada com características bióticas e abióticas, como matéria orgânica, pH, temperatura, umidade, porosidade, aeração etc. (RODRIGUES, 1998). Um solo supressivo tem maior capacidade de competir com microrganismos patogênicos, dando origem a uma planta mais saudável e produtiva, impactando diretamente na produtividade (BETTIOL, GHINI, 2005).

Na natureza, a celulose é degradada pela ação de três enzimas endoglucanase, exoglucanase e β -glicosidase. A β -glicosidase, pode ser sintetizada por fungos, bactérias e leveduras (AHMED, 2017). De acordo com a análise *F. solani*, *F. oxysporum* e BG (β -glicosidase), estão positivamente relacionadas entre si, negativamente relacionadas a FA, ARIL, *R. solani* e *M. phaseolina*. RAZA *et al.*, 2011 e CHRISTAKOPOULOS *et al.*, 1994, relatam a produção de β -glicosidase por *F. solani* e *F. oxysporum*.

O comportamento de *R. solani* e *M. phaseolina* foi inesperado, haja vista que os dois patógenos necessitam de condições distintas para se desenvolverem. A distribuição geográfica dos patógenos, aliado a informações como cultivos empregados, rotação de culturas,

manejos utilizados, condições climáticas, histórico da área, entre outros são decisivos para determinar a predição de doenças do solo e atenuar os impactos nas culturas de interesse. Estudos futuros para o controle biológico desses organismos se fazem necessários para mitigar sua ação em campo e controlar a flutuação populacional ao longo do tempo.

6. CONCLUSÃO

Apenas 6 das áreas avaliadas estavam isentas da presença de *F. solani*, *F. oxysporum* e *R. solani*.

Dezesseis por cento não apresentaram microescleródios de *M. phaseolina*.

Os valores observados para as três enzimas demonstram que os locais avaliados não expressam seu potencial máximo, em função do desequilíbrio que ocorre no sistema.

7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, A.; NASIM, F. U.; Batool, K.; Bibi, A. Microbial β -glucosidase: Sources, production and applications. **Journal of Applied & Environmental Microbiology**, v. 5, 2017.

ALLEN, T. W.; BRADLEY, C. A.; SISSON, A. J.; BYAMUKAMA, E.; CHILVERS, M. I.; COKER, C. M.; COLLINS, A. A.; DAMICONE, J. P.; DORRANCE, A. E.; DUFAULT, N. S.; ESKER P. D.; FASKE, T. R.; GIESLER, L. J.; GRYBAUSKAS, A. P.; HERSHMAN, D. E.; HOLLIER, C. A.; ISAKEIT, T.; JARDINE, D. J.; KELLY, H. M.; KEMERAIT, R. C.; KLECZEWSKI, N. M.; KOENNING, S. R.; KURLE, J. E.; MALVICK, D. K.; MARKELL, S. G.; MEHL, H. L.; MUELLER, D. S.; MUELLER, J. D.; MULROONEY, R. P.; NELSON, B. D.; NEWMAN, M. A.; OSBORNE, L.; OVERSTREET, C.; PHIPPS, P. M.; PRICE, P.P.; SIKORA, E. J.; SMITH, D. L.; SPURLOCK, T. N.; TANDE, C. A.; TENUTA, A. U.; WISE, K. A.; WRATHER, J. A. Soybean yield loss estimates due to diseases in the united states and Ontario, Canada, from 2010 to 2014. **Plant Health Progress**, v. 18, 2017.

ARASTEHFAR, A.; LASS-FLÖRL, C.; GARCIA-RUBIO, R.; ILKIT, M.; BOEKHOUT, T.; GABALDON, T.; PERLIN, D. S. The quiet and underappreciated rise of drug-resistant invasive fungal pathogens. **Journal of Fungi**, v. 6, 2020.

ARORA, D.K., DWIVEDI, R.S. Mycoparasitism of *Fusarium* SPP. on *Rhizoctonia solani* Kühn. **Plant Soil**, v. 55, 1980

BAKER, K. F.; COOK, R. J. Biological control of plant pathogens. **Freeman**. San Francisco. 1974.

BANDICK, Anna K.; DICK, Richard P. Field management effects on soil enzyme activities. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 31, 1999.

BETTIOL, W; GHINI, R. Solos Supressivos. **Ecologia e Manejo de Patógenos Radiculares em Solos Tropicais**, v.1, 2005.

CONAB - **Boletim da Safra de Grãos**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/safra-graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 15 jan. 2021.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, 2002.

COSTA, R. L.; COSTA, J. S. Influência da densidade de inóculo de *Fusarium solani* f.sp. phaseoli na severidade da podridão radicular seca do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 34, 2007.

CHRISTAKOPOULOS, P.; GOODENOUGH, P. W.; KEKOS, D.; MACRIS, B. J.; CLAEYSSSENS, M.; BHAT, M. K. Purification and Characterisation of an Extracellular β -Glucosidase with Transglycosylation and Exo-glucosidase Activities from *Fusarium oxysporum*. **European Journal of Biochemistry**, v. 224, 1994. **Dados | Andrios Assessoria**. Disponível em: <<https://www.andriosassessoria.com.br/dados>>. Acesso em: 23 jul 2021.

DAMICONE, J. P.; PATEL, M.V.; MOORE, W.F. Density of sclerotia of *Rhizoctonia solani* and incidence of sheat blight in rice fields in Mississippi. **Plant Disease**, v. 77, 1993.

EDMEADES, D. C. The long-term effects of manures and fertilisers on soil productivity and quality: A review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 66, 2003.

EKENLER, M.; TABATABAI, M. A. Tillage and residue management effects on β glucosaminidase activity in soils. **Soil Biology & Biochemistry**., v. 35, 2003.

HARRIS, K.; YOUNG, I. M; GILLIGAN, C. A; OTTEN, W.; RITZ, K. Efect of bulk density on the spatial organisation of the fungus *Rhizoctonia solani* in soil. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 44, 2003.

HENRY, P. M.; PASTRANA, A.M.; Persistence of *Fusarium oxysporum* f. Sp. *fragariae* in soil through asymptomatic colonization of rotation crops. **Phytopathology**, v. 109, 2019.

ISLAM, Md S.; HAQUE, Md S.; ISLAM, M. M.; EMDAD, E. M.; HALIM, A.; HOSSEN, Q. Md M.; HOSSAIN, Md Z.; AHMED, B.; RAHIM, S.; RAHMAN, Md S.; ALAM, Md M.; HOU, S.; WAN, X.; SAITO, J. A.; ALAM, M. Tools to kill: Genome of one of the most destructive plant pathogenic fungi *Macrophomina phaseolina*. **BMC Genomics**, v. 13, 2012.

JAYARAMAN, S.; NAOREM, A.; Lal, R.; DALAL, R. C.; SINHA, N. K.; PATRA, A. K.; CHAUDHARI, S. K. Disease-Suppressive Soils—Beyond food production: a critical review. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, 2021.

JIMENEZ-DIAZ, R. M.; BLANCO-LOPEZ, M. A.; SACKSTON, W. E. Incidence and Distribution of Charcoal Rot of Sunflower Caused by *Macrophomina phaseolina* in Spain. **Plant Disease**, v. 67, 1983.

KAUR, S.; DHILLON, G. S.; BRAR, S. K.; VALLAD, G. E.; CHAND, R.; CHAUHAN, V. B. Emerging phytopathogen *Macrophomina phaseolina*: Biology, economic importance and current diagnostic trends. **Critical Reviews in Microbiology**, v. 38, 2012.

KHAN, M. R.; HAQUE, Z.; RASOOL, F.; SALATI, F.; KHAN, U.; MOHIDDIN, F. A.; ZUHAIB, M. Management of root-rot disease complex of mungbean caused by

Macrophomina phaseolina and *Rhizoctonia solani* through soil application of *Trichoderma* spp. **Crop Protection**, v. 119, 2019.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O.; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. Revista **Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, 2012.

LIU, E.; YAN, C.; MEI, X.; ZHANG, Y.; FAN, T. Long-Term Effect of Manure and Fertilizer on Soil Organic Carbon Pools in Dryland Farming in Northwest China. **PLoS ONE**, v. 8, 2013.

LOBO, V. L. S.; JUNIOR, M.L.; COSTA, G. R.; SANTOS, A. B. **Efeitos da adubação com termofosfato e da rotação de culturas sobre a sobrevivência de *Rhizoctonia solani* em várzea tropical**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA/CNPSA, 2007. 2 p. (EMBRAPA/CNPSA. Comunicado Técnico, 143).

LOUZADA, G. A. S.; JUNIOR, M. L.; SILVEIRA, P. M.; OLIVEIRA, J. P. Efeito da densidade do solo na incidência de *Fusarium* spp. **Documentos, IAC**, v. 85, 2008.

MENDES, I. C., BANDICK, A. K.; DICK, R. P.; BOTTOMLEY, P. J. Microbial biomass and activities in soil aggregates affected by winter cover crops. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, 1999.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, 2003.

MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B. Uso de Parâmetros Microbiológicos como Indicadores para Avaliar a Qualidade do Solo e a Sustentabilidade dos Agroecossistemas. **Documentos 112 / Embrapa Cerrados**, p.34, 2004.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS-JUNIOR, F. B.; LOPES, A. A. C. **Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo**. Planaltina: EMBRAPA CERRADOS, 2018. 3 p. (EMBRAPA/CNPSA. Circular Técnica, 38).

MENGISTU, A.; SMITH, J. R.; RAY, J. D.; BELLALLOUI, N. Seasonal progress of charcoal rot and its impact on soybean productivity. **Plant Disease**, v. 95, 2011.

MICHEREFF, S. J.; ANDRADE, D. E. G. T.; MENEZES, M. **Ecologia e Manejo de Patógenos Radiculares em Solos Tropicais**, 2005.

MIHAIL, J. D.; ALCORN, S. M. Quantitative recovery of *Macrophomina phaseolina* sclerotia from soil. **Plant Disease**, v. 66, 1982.

NASERI, B. Interpretation of variety × sowing date × sowing depth interaction for bean-

Fusarium-Rhizoctonia pathosystem. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 46, 2013.

OUÉDRAOGO, E.; BRUSSAARD, L.; STROOSNIJDER, L. Soil fauna and organic amendment interactions affect soil carbon and crop performance in semi-arid West Africa. **Biology and Fertility of Soils**, v. 44, 2007.

PÉREZ, C. E. B.; CABRAL, G. B.; ARAGÃO, F. J. L. Host-induced gene silencing for engineering resistance to Fusarium in soybean. **Plant Pathology**, v. 70, 2021

PORTO, M. A. F.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; NASCIMENTO, S. R. C.; DA CRUZ, B. L. S.; TORRES, T. M. Interaction of *Fusarium solani*, *Macrophomina phaseolina* and *Rhizoctonia solani* as root rot pathogens of cucumis melo. **Summa Phytopathologica**, v. 45, 2019.

RAZA, F.; RAZA, N. A.; HAMEED, U.; HAQ, I. U.; MARIAM, I. Solid state fermentation for the production of β -glucosidase by co-culture of. **Pak. J. Bot**, v. 43, 2011.

REIS, E. M.; BOARETTO, C.; DANELLI, A. L. D. *Macrophomina phaseolina*: density and longevity of microsclerotia in soybean root tissues and free on the soil, and competitive saprophytic ability. **Summa Phytopathologica**, v. 40, 2014.

RODRIGUES, F.; CORRÊA, G.; SANTOS, M.; BORGES, E. L. Fatores envolvidos na supressividade a *Rhizoctonia solani* em alguns solos tropicais brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22 1998.

ROTH, M. G.; WEBSTER, R. W.; MUELLER, D. S.; CHILVERS, T. R. F.; MATHEW, F. M.; BRANDLEY, C. A.; DAMICONE, M. K.; SMITH, D. L. Integrated Management of Important Soybean Pathogens of the United States in Changing Climate. **Journal of Integrated Pest Management**, v. 11, 2021.

SANTOS, A. H.; COPPETTI, K.; GRAUMANN, A. A.; TRAGNAGO, J. L. Resposta da soja (*Glycine Max* L.) À aplicação de Nitrogênio na forma de ureia em diferentes doses e estádios fenológicos. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, 2021.

SEXTON, Z. F.; HUGHES, T. J.; WISE, K. A. Analyzing isolate variability of *Macrophomina phaseolina* from a regional perspective. **Crop Protection**, v. 81, 2016.

SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; MIGUEL, D. L.; FEITORA, J. C. F.; LOSS, A.; MENEZES, C. E. G.; SILVA, E. M. R. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio vale do paraíba do sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 36, 2012.

SOUZA, E. D. Influência de sistemas de cultivo e de sucessões de culturas em patógenos de solo do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). 2006, 100 p. **Tese** (Doutorado em fitopatologia) - Universidade de Brasília, Brasília, DF.

SOUZA, R. C.; MENDES, I. C.; REIS-JUNIOR, F. B.; CARVALHO, F. M.; NOGUEIRA, M. A.; VASCONCELOS, A. T. R.; VICENTE, V. A.; HUNGRIA, M. Shifts in taxonomic and functional microbial diversity with agriculture: How fragile is the Brazilian Cerrado? **BMC Microbiology**, v. 16, 2016.

SHAH, D. A.; MOLINEROS, J. E.; PAUL, P.A.; WILLYERD, K.T.; MADDEN, L. V.; DE WOLF, E.D. Predicting Fusarium head blight epidemics with weather-driven pre-and post-anthesis logistic regression models. **Phytopathology**, v. 103, 2013.

SMILEY, R. W.; UDDIN, W. Influence of Soil Temperature on Rhizoctonia Root Rot (*R. solani* AG-8 and *R. oryzae*) of Winter Wheat . **Phytopathology**, v. 83, 1993.

SPOLTI, P.; PONTE, E. M. Del. Disease risk, spatial patterns, and incidence-severity relationships of Fusarium head blight in no-till spring wheat following maize or soybean. **Plant Disease**, v. 99, 2015.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: R. W. Weaver et al. (ed.). Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, 1994.

TOLÊDO-SOUZA, E. D.; JÚNIOR, M. L.; SILVEIRA, P. M.; CAFÉ FILHO, A. C. Interações entre *Fusarium solani* f. sp. phaseoli e *Rhizoctonia solani* na severidade da podridão radicular do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, 2009.

WAGAN, K. H.; KHASKHELI, M. I.; HAJANO, J. U.D.; LANJAR, A. G. Population density and aggressiveness of *Macrophomina phaseolina* isolates from Sindh, Pakistan. **Sarhad Journal of Agriculture**, v. 35, 2019.

WANG, B.; BRUBAKER, C. L.; BURDON, J. J. Fusarium species and *Fusarium wilt* pathogens associated with native gossypium populations in Australia. **Mycological Research**, v. 108, 2004.

WEI, Z.; GU, Y.; FRIMAN, V. P.; KOWALCHUK, G. A.; XU, Y.; SHEN, Q.; JOUSSET, A. Initial soil microbiome composition and functioning predetermine future plant health. **Plant Science**, v. 5, 2019.

YIN, C.; MCLAUGHLIN, K.; PAULITZ, T. C.; KROESE, D. R.; HAGERTY, C. H. Population dynamics of wheat root pathogens under different tillage systems in northeast Oregon. **Plant Disease**, v. 104, 2020.

ZHANG, J. X.; XUE, A. G.; COBER, E. R.; MORRISON, M. J.; ZHANG, H. J.; ZHANG, S. Z.; GREGORICH, E. Prevalence, pathogenicity and cultivar resistance of Fusarium and Rhizoctonia species causing soybean root rot. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 93, 2013.