

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - MESTRADO

RODRIGO MORES MAROCHI

DETECÇÃO DE MANCHAS EM LAVOURAS DE SOJA OCASIONADAS POR
PATÓGENOS DO SOLO, COM BASE EM DADOS ESPECTRAIS NO ESTADO DO
PARANÁ

PONTA GROSSA
2022

RODRIGO MORES MAROCHI

**DETECÇÃO DE MANCHAS EM LAVOURAS DE SOJA OCASIONADAS POR
PATÓGENOS DO SOLO, COM BASE EM DADOS ESPECTRAIS NO ESTADO DO
PARANÁ**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Ponta Grossa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia na Área de Concentração em Manejo fitossanitário, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. David de Souza Jaccoud Filho

PONTA GROSSA

2022

M354 Marochi, Rodrigo Mores
Detecção de manchas em lavouras de soja ocasionadas por patógenos do solo, com base em dados espectrais no Estado do Paraná / Rodrigo Mores Marochi. Ponta Grossa, 2022.
75 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia - Área de Concentração: Fitotecnia e Fitossanidade), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. David de Souza Jaccoud Filho.

1. Doenças radiculares e da haste da soja. 2. Drone. 3. Machine learning. 4. Multiespectral. I. Jaccoud Filho, David de Souza. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Fitotecnia e Fitossanidade. III.T.

CDD: 633



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
Av. General Carlos Cavalcanti, 4748 - Bairro Uvaranas - CEP 84030-900 - Ponta Grossa - PR -
<https://uepg.br>

TERMO

Título da Dissertação: Detecção de manchas em lavoura de soja ocasionadas por patógenos do solo, com base em dados espectrais no estado do Paraná.

Nome: **Rodrigo Mores MarochiConceito:**

(X) Aprovado () Reprovado

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. David de Souza Jaccoud Filho

Prof^a. Dr^a. Maristella Dalla Pria

Prof^a Dr^a. Elaine Margarete Guimarães



Documento assinado eletronicamente por **David de Souza Jaccoud Filho, Chefe Adjunto do Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade/DEFITO**, em 05/03/2022, às 08:27, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Maristella Dalla Pria, Professor(a)**, em 07/03/2022, às 08:42, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Elaine Margarete Guimaraes, Professor(a)**, em 28/03/2022, às 14:03, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.uepg.br/autenticidade> informando o código verificador **0898148** e o código CRC **145FF115**.

*Dedico este trabalho aos meus pais, Aroldo Irio Marochi e Alice Regina Mores e minha esposa, Ane Caroline Carrilho por **sempre me incentivar e manter forças para realização deste ciclo.***

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que possibilitou toda trajetória de vida e conhecimento para que pudéssemos viver de melhor maneira.

Agradeço a UEPG e aos responsáveis pelo PPG-AGRO por todo o apoio para a realização desse trabalho.

Agradeço a todo do Deinfo UEPG que proporcionaram o desenvolvimento essencial desta pesquisa.

Agradeço a toda a equipe do Laboratório de Fitopatologia Aplicada da UEPG pelo todo o apoio gerado nos resultados deste trabalho.

Agradeço aos meus pais, Aroldo Irio Marochi e Alice Regina Mores, por sempre prestarem todo suporte necessário com toda dedicação possível que estavam à disposição deles.

Agradeço a minha querida e amada esposa, Ane Caroline Carrilho, que em todos os momentos prestou toda sua força, amor e carinho na nossa trajetória que vivemos juntos, motivando-me sempre para buscar o melhor, mostrando que o amanhã podemos fazer sempre melhor que hoje.

Agradeço aos meus sogros, Ariel José Carrilho e Eva Aparecida Carrilho, que sempre me deram apoio e forças nessa jornada concluída,

Agradeço ao Prof. Dr. David de Souza Jaccoud Filho por me tirar da zona de conforto e buscar novos horizontes de pensamentos, tendo toda paciência e dedicação para me ajudar e concluir essa etapa.

Agradeço a todos da AgroMarochi que colaboraram auxiliando nas etapas desenvolvidas neste trabalho.

Agradeço aos agricultores que abriram as portas das suas propriedades para que pudesse realizar o estudo e continuidade nessa pesquisa.

Agradeço ao pessoal da Agrifotos que auxiliaram nas imagens com a RPA utilizada e sensor para o desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço a Prof. Dr.^a Alaine Margarete Guimarães e sua equipe por prestar esclarecimento nas dúvidas e ajuda prestada que contribuíram nos resultados deste trabalho.

Agradeço a Prof. Dr.^a Alaine Margarete Guimarães e a Prof. Dr.^a Maristella Dalla Pria por fazerem a composição da banca de defesa desta pesquisa, presentes no fim de um ciclo completado.

Agradeço aos colegas Ingrid Gomes e Carlos Eduardo Karvat por sempre prestarem ajuda em meio as dúvidas, contribuindo na realização e finalização deste trabalho.

“Toda ação humana, quer se torne positiva ou negativa,
precisa depender de motivação”

Dalai Lama

RESUMO

A identificação de patógenos em áreas de produção agrícola é uma ferramenta que auxilia no controle localizado e na sua disseminação, diminuindo o custo do controle e de forma menos agressiva ao meio ambiente. O trabalho teve como objetivo avaliar o uso de imagens obtidas por RPA para identificação de manchas em lavouras de soja (*Glycine max*) ocasionadas por patógenos de solo em duas safras na região de Ponta Grossa e uma safra em Wenceslau Braz, Estado do Paraná. Nos dois locais de estudo foi selecionado área de 4 hectares para realização da coleta de dados a campo, onde foram divididas em 80 grades amostrais, mensurando 500 m² cada grade amostral com o dimensionamento de 20 x 25 m. O RPA utilizado foi Inspire 2 da Dji com a câmera Sentera Double 4K (multiespectral). Foram avaliados a campo a identificação de sintomas de mancha em lavoura de soja, ocasionadas por patógeno de solo, a identificação dos patógenos, altura de planta, população e produtividade em kg ha⁻¹. Foram processados os algoritmos de *machine learning* no software Weka e SynthesisFS. A verificação do melhor algoritmo foi pelo maior índice de coeficiente de correlação em relação ao atributo de plantas com patógenos e sem patógenos, utilizando-se o teste de normalidade de Shapiro-Wilk para verificar se os dados que foram trabalhados eram paramétricos ou não, de acordo com os resultados das análises. Para os valores não paramétricos foi utilizado o teste de Wilcoxon para verificar a diferença entre as populações dos quadrantes com e sem patógenos de solo e, para os dados paramétricos foi utilizado o teste T de Student. Os patógenos encontrados nas áreas durante as duas safras, nos dois locais de estudo, foram *Furarium* spp, *Macrophomina phaseolina* e *Phomopsis* spp, que afetaram a produtividade. Os algoritmos mostraram a importância do uso dos valores de reflectância das bandas nos dois locais de estudo com ênfase nos índices de NDVI e NDRE. Foi possível geral um modelo de classificação com algoritmo J48, baseado em árvores, com validação cruzada 5 folds com índices de acerto acima de 80% nos dois locais, considerado eficiente para identificar as reboleiras ocasionadas pelos patógenos de solo na cultura da soja.

Palavras chaves: *Doenças radiculares e da haste da soja; drone, machine learning, multiespectral.*

ABSTRACT

The identification of pathogens in agricultural production areas is a tool that helps in localized control and its dissemination, reducing the cost of control and in a less aggressive way to the environment. The objective of this work was to evaluate the use of images obtained by RPA to identify spots in soybean (*Glycine max*) crops caused by soil borne pathogens in two harvests in the region of Ponta Grossa and one harvest in Wenceslau Braz, State of Paraná. Within the two study sites, an area of 4 hectares was selected to carry out the data collection in the field, where they were divided into 80 sample grids, measuring 500m² each sample grid with the dimensioning of 20 x 25 m. The RPA used was Inspire 2 from DJI with the Sentera Double 4K camera (multispectral). The identification of symptoms of stain in soybean crops, caused by the soil borne pathogens, identification of pathogens, plant height, population, and yield in kg ha⁻¹ were evaluated in the field in Weka and SynthesisFS software. The verification of the best algorithm was based on the highest correlation coefficient index in relation to the attribute of plants with and without pathogens, using the Shapiro-Wilk normality test to verify if the data that were worked were parametric or not, in according to results of the analyses. For the non-parametric values, the Wilcoxon test was used to verify the difference between the populations of the quadrants with and without soil pathogens and, for the parametric data, the Student's T test was used. The pathogens found in the areas during the two seasons, in the two study sites, were *Fusarium* spp, *Macrophomina phaseolina* and *Phomopsis* spp. Which affected productivity. The algorithms showed the importance of using the reflectance values of the bands in the two study sites with emphasis on the NDVI and NDRE indices. It was possible to generate a classification model with the J48 algorithm, based on trees, with cross-validation of 5 folds with hit rates above 80% in both places, considered efficient to identify the ruffles caused by soil borne pathogens in the soybean crop.

Key words: *drone; machine learning; multispectral; soybean root and stem rot diseases.*

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Distribuição dos fungos patogênicos (%) na cultura da soja (<i>Glycine max</i>), safra 2019/2020 em Ponta Grossa, PR – 2022.	47
Gráfico 2 Distribuição dos fungos patogênicos (%) na cultura da soja (<i>Glycine max</i>), na safra 2020/2021 em Ponta Grossa, PR – 2022.	48
Gráfico 3 Distribuição dos fungos patogênicos (%) na cultura da soja (<i>Glycine max</i>), safra 2019/2020 em Wenceslau Braz, PR – 2022.	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Sintomas de coloração avermelhado em torno da raiz causada pelo <i>Fusarium</i> spp. na cultura da soja (<i>Glycine max</i>) [A]; sintoma na parte aérea da soja com necrose entre nervuras causada pelo fungo.	23
Figura 2 Lesões geográficas causadas pela <i>Macrophomina phaseolina</i> cultura da soja (<i>Glycine max</i>).	25
Figura 3 Alfa (α) e Beta (β) conídios, característicos de <i>Phomosis sojae</i> a 60x no microscópio óptico.	27
Figura 4 Localização geográfica das áreas de estudo com a cultura da soja (<i>Glycine max</i>) nos municípios de Ponta Grossa e Wenceslau Braz - PR.	35
Figura 5 Equipamentos para coleta de imagens aéreas na cultura da soja (<i>Glycine max</i>)	37
Figura 6 Receptor GNSS Spectro SP60 sobre uma GCP coletando dados com a cultura da soja (<i>Glycine max</i>).. . . .	39
Figura 7 Demonstração de sintomas e estruturas de patógenos de solo da cultura da soja (<i>Glycine max</i>), Ponta Grossa e Wenceslau Braz - PR, 2022.	41
Figura 8 Isolamento direto de plantas de soja (<i>Glycine max</i>) com sintomas de doenças na região radicular e caule, Ponta Grossa e Wenceslau Braz – PR, 2022.. . . .	42
Figura 9 Reboleiras em lavoura de soja (<i>Glycine max</i>) dentro da área de estudo ocasionado por patógenos de solo, Ponta Grossa, PR, 2022.	44
Figura 10 Sintomas e estruturas de patógenos de solo na cultura da soja (<i>Glycine max</i>), Ponta Grossa, PR, 2022.	46
Figura 11 Reboleiras em lavoura de soja (<i>Glycine max</i>) dentro da área de estudo ocasionado por patógenos de solo, Ponta Grossa, PR, 2022.	54
Figura 12 Comparação das classificações da área de estudo de Ponta Grossa para identificação de áreas com plantas de soja (<i>Glycine max</i>) infectadas com patógenos de solo, 2022.	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Patógenos de solo, suas distintas estruturas de resistência e os sintomas causados na cultura da soja (<i>Glycine max</i>).	20
Tabela 2 Exemplos de estudos sobre detecção de doenças de plantas por diferentes sensores óticos (MAHLEIN, 2016).	31
Tabela 3 Datas de voos realizados nas áreas de estudo nas safras 2019/20 e 2020/21 com a cultura da soja (<i>Glycine max</i>), nos municípios de Ponta Grossa e Wenceslau Braz – PR, 2022.	38
Tabela 4 Comparação da porcentagem de incidência das médias dos patógenos entre as safras da cultura da soja (<i>Glycine max</i>), Ponta Grossa, PR – 2022..	48
Tabela 5 Correlação da incidência dos patógenos de solo na cultura da soja (<i>Glycine max</i>) em relação ao relevo nas safras 2019/2020 e 2020/2021 em Ponta Grossa, PR – 2022.....	49
Tabela 6 Médias das variáveis estudadas nas populações de soja (<i>Glycine max</i>) com e sem patógenos de solo, em relação a altura de planta, altura da inserção da 1ª vagem (cm), população de plantas (ha), número de vagem com 1, 2 e 3 sementes, número de vagens e sementes por planta, número de sementes por vagem, massa de mil grãos (MMG[g]) e produtividade (kg. ha ⁻¹) na safra 2019/2020, Ponta Grossa, PR – 2022.	50
Tabela 7 Ranking das variáveis utilizadas para classificar populações de plantas de soja (<i>Glycine max</i>) com e sem patógenos pelo algoritmo CFS Subset Evaluator na safra 19/2020, Ponta Grossa, PR – 2022.	52
Tabela 8 Coeficientes de correlação na classificação de plantas de soja (<i>Glycine max</i>) infectadas pelos patógenos de solo <i>Fusarium</i> spp., <i>M. phaseolina</i> e <i>Phomopsis</i> spp. pelo algoritmo Lazy IBk sobre o atributo do NDVI do 4º voo da safra 2019/2020, Ponta Grossa, PR – 2022.....	53
Tabela 9 Correlação da incidência dos patógenos de solo em relação ao relevo na safra 2019/2020 em Wenceslau Braz, PR – 2022.	56

Tabela 10	Médias das variáveis estudadas nas populações de soja com e sem patógenos de solo, em relação a altura de planta, altura da inserção da 1ª vagem (cm), população de plantas (ha), número de vagem com 1, 2, 3 e 4 sementes, número de vagens e sementes por planta, número de sementes por vagem, massa de mil grãos (MMG[g]) e produtividade (kg. ha ⁻¹) na safra 2019/2020, Wenceslau Braz, PR – 2022.	57
Tabela 11	Ranking das variáveis utilizadas para classificar populações de plantas de soja com e sem patógenos pelo SynthesisFS na safra 2019/2020 em diferentes épocas de voos, Wenceslau Braz, PR – 2022.	58
Tabela 12	Algoritmos que apresentaram maior coeficiente de correlação na classificação das populações com e sem patógenos em relação as épocas de voo realizadas na safra 2019/2020, Wenceslau Braz, PR – 2022. ...	59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	SOJA NO BRASIL	17
2.2	PATÓGENOS FÚNGICOS DE SOLO	18
2.1.1	PODRIDÃO VERMELHA DA RAIZ (<i>Fusarium</i> spp)	22
2.1.2	PODRIDÃO DE CARVÃO (<i>Macrophomina phaseolina</i>)	24
2.1.3	COMPLEXO <i>Diaporthe/Phomopsis</i> spp.	26
2.3	SENSORIAMENTO REMOTO	28
2.4	IDENTIFICAÇÃO DE DOENÇAS POR SENSORIAMENTO REMOTO	29
2.5	MACHINE LEARNING EM IDENTIFICAÇÃO DE DOENÇAS	33
3	OBJETIVOS	34
2.6	OBJETIVO GERAL	34
2.7	OBJETIVO ESPECÍFICOS	34
4	MATERIAL E MÉTODOS	35
2.8	CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	35
2.9	DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	37
2.10	PLANO DE VOO E ORTOMOSAICO	38
2.11	GEORREFERENCIAMENTO DAS IMAGENS OBTIDAS	39
2.12	AVALIAÇÕES A CAMPO	40
2.13	EXTRAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS POR RPA	42
2.14	ANÁLISE DOS DADOS	43
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
5.1	PONTA GROSSA -PR	44
5.1.1	IDENTIFICAÇÃO, INCIDÊNCIA E INFLUÊNCIA NA SOJA DOS PATÓGENOS DE SOLO	44
5.1.2	MACHINE LEARNING – IDENTIFICAÇÃO DOS PATÓGENOS	51
5.2	WENCESLAU BRAZ -PR	54
5.2.1	IDENTIFICAÇÃO, INCIDÊNCIA E INFLUÊNCIA NA SOJA DOS PATÓGENOS DE SOLO	54
5.2.2	MACHINE LEARNING – IDENTIFICAÇÃO DOS PATÓGENOS	57
5.3	VALIDAÇÃO DO MODELO DE IDENTIFICAÇÃO DE PLANTAS COM PATÓGENOS DE SOLO	60
6	CONCLUSÃO	62
	REFERÊNCIAS	63

ANEXO A – DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DA 3M DA SAFRA 2019/2020, PONTA GROSSA, PR – 2022.....	73
ANEXO B – DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DA 3M DA SAFRA 2020/2021, PONTA GROSSA, PR – 2022.....	73
ANEXO C – DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DA AGRO OLIMPIA DA SAFRA 2019/2020, WENCESLAU BRAZ, PR – 2022.....	74

1 INTRODUÇÃO

O aumento de produtividade de produtos agrícolas é um objetivo a ser alcançado para poder suprir as necessidades de alimentação mundial, de modo que de 2010 a 2050 será necessário incremento na produção de alimentos de 47%. Dessa forma, o Brasil é um importante protagonista na demanda de commodities agrícola, tendo importante papel para sustentação na alimentação mundial (EMBRAPA, 2018a).

O uso de diferentes tecnologias no setor agrícola proporcionou evolução na produção de grãos no mercado brasileiro, de modo que em 1977 a produção brasileira era de 47 milhões de toneladas de grãos, passando em 2017 para 237 milhões de toneladas, uma crescente de cinco vezes maior dentro de um período de 40 anos. A tecnologia explica o incremento na produção de grãos brasileira, responsável por 59% do crescimento do valor bruto da produção, enquanto terra e trabalho explicam 25% e 16% respectivamente do crescimento da produção (EMBRAPA, 2018b).

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é uma cultura de grande importância na economia brasileira, tornando-se na safra de 2019/2020 o maior produtor de soja do mundo (FIESP, 2020), com uma produção estimada na safra 2021/2022 de 122,4 milhões de toneladas (CONAB, 2022).

Uma das principais barreiras que afetam a produção de alimentos são os agentes patogênicos que podem danificar ou impossibilitar a utilização do insumo alimentício para o consumo humano direto ou indiretamente.

A soja apresenta diversos tipos de patógenos que interferem na sua produtividade, como patógenos que atacam a parte aérea e patógenos que habitam o solo. Esses apresentam características de patógenos polífagos, que podem infectar diversas espécies vegetais de modo que sua disseminação pode prevalecer devido a dificuldade de controle do inóculo na área (AGRIOS, 2005).

No Brasil as áreas produtoras de soja muitas vezes apresentam patógenos radiculares, que são patógenos que habitam o solo e tem aumentado com a expansão das áreas de cultivo ao longo das safras. Patógenos como *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid, *Fusarium solani* [(App. & Wollenw.) Snyd. & Hans] f. sp. *glycines* e *Phomosis* spp. acarretam uma grande perda econômica para o país, chegando a ter

danos de produção de 10 a 50% por *M. phaseolina* e 30 a 40% por *Fusarium* spp. (JACCOUD-FILHO; LES; NADAL, 2020).

Esses patógenos do solo produzem sintomas semelhantes na parte aérea das plantas no estágio reprodutivo da cultura, como amarelecimento, formação de folhas “carijós” e sintomas de déficit hídrico (ALMEIDA; SEIXAS, 2010; ALMEIDA *et al.*, 2014; BOARETTO; DANELLI, 2012; ITO, 2013; JACCOUD-FILHO; LES; NADAL, 2020; REIS; CASA, 2012; YORINORI *et al.*, 2018). Dessa forma com os reflexos da colonização dos patógenos de solo pode-se observar por sensoriamento remoto, através de equipamentos das aeronaves remotamente pilotadas (RPA – *remotely piloted aircraft*) os quais identificam por imagens pelas bandas de ondas do domínio visível, infravermelho próximo e infravermelho médio ou de onda curta, possibilitando identificar reboleiras em lavouras, com sintomas invisíveis desses patógenos a olho nu (JORGE *et al.*, 2014; SAHOO *et al.*, 2015).

Atualmente trabalhos de estudo de identificação de patógenos fúngicos na cultura da soja por sensoriamento remoto no mundo são escassos, estando no seu estágio inicial. Poucos estudos foram realizados com foco na averiguação do nível de validação, comparando o método por sensoriamento remoto contra a identificação terrestre, visando a melhoria dos dados para futuros estudos na área e em trabalhos a campo de agricultura de precisão.

Dessa forma, foi estudado como os agentes etiológicos do solo que incitam doenças na soja se comportam a campo, correlacionando fatores identificados por imagens a campo, o melhor entendimento sobre a disseminação desses patógenos, auxiliando assim os produtores dessa cultura no manejo e controle de doenças, diminuindo o seu custo de produção e o impacto ambiental com a menor utilização de produtos químicos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SOJA NO BRASIL

A cultura da soja (*Glycine max*) tem como o primeiro registro no Brasil o ano de 1882, onde Dutra realizou os primeiros testes com algumas variedades no Estado da Bahia observando a qualidade da cultura e sua adaptação em campos brasileiros. Mesmo não tendo muito sucesso, esta tentativa fez estimular a experimentação da cultura em diversas áreas no país (BONATO; BONATO, 1987).

Na década de 1940 a produção de soja começou a ser difundida no Brasil, com início da sua expansão no Estado do Rio Grande do Sul, seguindo para os outros estados sulistas, atingindo regiões mais acima como sudeste e centro-oeste até o norte brasileiro. A viabilidade da cultura se deu a fácil adaptação das variedades, a utilização na sucessão de culturas de inverno (trigo na região Sul), a mecanização em todas as operações das atividades da cultura (DALL'AGNOL, 2016; GAZZONI, 2018).

A soja é cultivada em todo território nacional, desde em altas latitudes nas regiões do Rio Grande do Sul e até em situações opostas, em baixas latitudes equatoriais tropicais, demonstrando alto desempenho de produtividade (CÂMARA, 2015).

A soja é utilizada para vários fins, como produção de óleo vegetal, biodiesel e para alimentação humana e animal, apresenta níveis de proteína de 41,0 a 48,0% e 15,0 a 23,0% de lipídeo nas sementes de soja com alto potencial de exploração para conversão de proteína vegetal em animal e produção de óleos para diversos fins (OLIVEIRA *et al.*, 2017; RAMALHO *et al.*, 2020).

Na safra 2020/21 ocorreu aumento de área plantada em relação a safra anterior de 4,3%, atingindo 38,5 milhões de hectares semeado com uma produção de 135,9 milhões de toneladas, demonstrando um aumento de 8,9% (CONAB, 2021a).

O sistema de produção da soja apresenta um enorme papel econômico no Brasil, participando de diversos espaços socioeconômicos a partir da sua própria produção de sementes e commodities, uso para alimentação de suínos, aves e bovinos e na industrialização da oleaginosa, agregando valor ao produto, de forma que em 2014 foi responsável por 12,7% do PIB brasileiro, 12,1% dos empregos foi gerado em

torno da cadeia de produção da soja e em 2021 com um Valor Bruto de Produção da soja em 2021 de 398,1 bilhões de reais (CNA, 2022; MONTOYA *et al.*, 2019).

O mercado exterior motiva um impulso na produção da soja no Brasil, evidenciando o importante papel na economia brasileira. Em 2021 as exportações de grãos de soja somado aproximadamente 48,31 milhões toneladas (CONAB, 2021b), com os principais países de destino os Estados Unidos e a China (MESQUITA; MERLO; GREMAUD, 2021).

2.2 PATÓGENOS FÚNGICOS DE SOLO

Os agentes fitopatogênicos apresentam um grande potencial de infecção sobre as plantas, podendo gerar problemas nos hospedeiros diretos (plantas) desenvolvendo uma cadeia que compromete todo sistema de produção de uma determinada cultura, interferindo direta e indiretamente ao ser humano. As colonizações desses patógenos nas células vegetais acarretam em continua respostas de sintomas visíveis e invisíveis nos tecidos vegetais, resultando em mudanças adversas de formato, funções ou integridade da planta que podem evoluir em danos parciais, ou na morte de partes das plantas ou da planta inteira (AGRIOS, 2005).

Nessa ordem os fungos fitopatogênicos apresentam uma grande importância no sistema de produção de grãos, apresentando uma capacidade de infecção de mais de um hospedeiro (polípagos). Podem também apresentar formas de sobrevivência como estruturas de resistências (microescleródios, escleródios, clamidósporos, oósporos e outros), viabilizando inóculos no solo por maior tempo, infectando próximas gerações de espécies de plantas. Também podem se multiplicar em restos culturais e serem disseminados por sementes, aumentando assim a possibilidade de contaminar novas fronteiras agrícolas (JACCOUD-FILHO; LES; NADAL, 2020).

Deste modo alguns fungos fitopatogênicos apresentam estruturas bastante eficientes na resistência para sua sobrevivência, como os escleródios, essas estruturas são formadas por um agregado compactos de hifas somáticas desenvolvendo uma massa arredondada ou formato irregular, sendo encontrados em diversos gêneros como *Sclerotinia*, *Macrophomina*, *Verticillium*, *Rhizoctonia* e outros, podendo sobreviver por vários anos no solo (AMORIM *et al.*, 2011).

Outros parâmetros a serem observados nos fungos fitopatogênicos no solo é a habilidade de se manter em ambientes com situações adversas, podendo sobreviver em ambientes com altas temperaturas no solo, não afetando a capacidade de infecção do patógeno no hospedeiro, mantendo o ciclo de vida do mesmo e infectando novos hospedeiros disponíveis (BASSETO *et al.*, 2011)

Patógeno que apresenta um amplo espectro de hospedeiros é a *Sclerotinia sclerotiorum*, desde hortaliças a grãos, apresentando uma grande importância no seu controle nas lavouras, pois seus danos sobre a cultura infectada pode chegar a 100% (JACCOUD-FILHO *et al.*, 2017). Além da cultura da soja, o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) também é um hospedeiro da *S. sclerotiorum*, os sintomas surgem em reboleiras, geralmente em locais de alta densidade de plantas e cultivares de hábito de crescimento indeterminado, com sintomas iniciais de murcha e posteriormente o apodrecimento da planta (PAULA-JUNIOR *et al.*, 2010).

Apesar dos patógenos do solo apresentarem características de permanecerem no solo, não significa que sua disseminação são de baixa intensidade, podem ser levados a grandes distâncias por sementes, chuvas com ventos, implementos contaminados e outros (AGRIOS, 2005; LALARDIN *et al.*, 2005).

Diversos patógenos do solo, quando infectam as plantas, apresentam sintomas reflexos na parte superior das plantas no estágio reprodutivo da cultura, como amarelecimento e formação de folhas carijós (Tabela 1). Esses sintomas que podem ser facilmente detectados por sensores remotos e se dimensionar as manchas em reboleiras causados pelos mesmos.

Tabela 1 - Patógenos de solo, suas distintas estruturas de resistência e os sintomas causados na cultura da soja (*Glycine max*).

(continua)

Patógenos de solo	Nome comum	Estrutura de resistência	Sintomas na planta	Referência
<i>Macrophomina phaseolina</i>	Podridão de carvão, podridão cinzenta	Microescleródios	Coloração marrom-escura na região do colo (emergência), amarelecimento das folhas na época de formação de vagens e murcha das plantas. Presença de epiderme solta nas raízes com pontuações negras (microesclerócios)	Almeida; Seixas (2010), Boaretto ; Danelli. (2012), Reis; Casa (2012), Ito. (2013), Almeida <i>et al.</i> (2014), Yorinori <i>et al.</i> (2018), Jaccoud-Filho <i>et al.</i> , (2020)
<i>Fusarium spp</i>	Morte por fusarium, Síndrome da morte súbita	Clamidosporos	Amarelecimento das folhas (carijó), coloração avermelhada no colo, escurecimento interno no sistema vascular e morte das plantas	Balardin <i>et al.</i> (2005), Almeida; Seixas (2010), Reis; Casa (2012), Ito. (2013), Yorinori <i>et al.</i> (2018), Jaccoud-Filho <i>et al.</i> , (2020)
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Mofo branco	Escleródios	Murcha com aparência de encharcamento e seca das folhas, podridão aquosa da haste, presença de micélio branco e escleródios.	Almeida; Seixas (2010), Reis; Casa (2012), Ito. (2013), Bradley; Mueller. (2017), Yorinori <i>et al.</i> (2018), Jaccoud-Filho <i>et al.</i> , (2020)
<i>Phytophthora sojae</i>	Podridão radicular de fitoftora	Oósporo	Apodrecimento de sementes ou flacidez na radícula em sequência ao cotilédone, coloração do tecido marrom, escurecimento da haste e de ramos laterais, de baixo para cima, amarelecimento das folhas, murcha completa e morte da planta.	Costamilan <i>et al.</i> (2007), Almeida; Seixas (2010), Reis; Casa (2012), Costamilan <i>et al.</i> (2015), Yorinori <i>et al.</i> (2018), Jaccoud-Filho <i>et al.</i> , (2020)

Fonte: Autor (2022).

Tabela 1 - Patógenos de solo, suas distintas estruturas de resistência e os sintomas causados na cultura da soja (*Glycine max*).

(conclusão)

Patógenos de solo	Nome comum	Estrutura de resistência	Sintomas na planta	Referência
<i>Rhizoctonia solani</i>	Rizoctoniose, tombamento de plântulas	Escleródios	Tombamento, morte das plântulas e plantas	Almeida; Seixas (2010), Reis; Casa (2012), Ito. (2013), Yorinori <i>et al.</i> (2018), Jaccoud-Filho <i>et al.</i> , (2020)
<i>Phomopsis</i> spp.	Manchas geográficas		Manchas delimitadas por linhas nas hastes ou raízes (geográfico); folhas "carijós".	Almeida; Seixas (2010), Reis; Casa (2012), Jaccoud-Filho (1996), Jaccoud-Filho <i>et al.</i> , (1997) Jaccoud-Filho <i>et al.</i> , (2020)
<i>Cadophora gregata</i>	Podridão parda da haste		Folha carijó, escurecimento da medula e do sistema vascular (Plantas adultas)	Almeida; Seixas (2010), Reis; Casa (2012), Ito. (2013), Jaccoud-Filho <i>et al.</i> , (2020)

Fonte: Autor (2022)

2.1.1 Podridão vermelha da raiz (*Fusarium* spp)

A primeira observação realizada de *Fusarium* spp. no Brasil foi na safra de 1981/82 em São Gotardo (MG), com aumento de ocorrência desse patógeno nos anos seguintes em novas fronteiras agrícolas no país, como na safra de 96/97 cuja aparição foi do Maranhão ao Rio Grande do Sul, com maior ênfase nos estados do Sul do país (RS, SC e PR) e no Centro-oeste brasileiro. (EMBRAPA, 2000; NAKAJIMA *et al.*, 1996; YORINORI *et al.*, 1993).

O agente causal da podridão vermelha da raiz foi caracterizado como *Fusarium solani* (Mart.) Sacc (ALMEIDA; SEIXAS, 2010), pertencendo a classe Deuteromicetos, caracterizados por micélios septado e bem desenvolvidos, com reprodução apenas na forma assexual (na fase sexual dos mesmos encontra-se em outras classes como Ascomycetes e Basidiomycetes), esporos são produzidos em conidióforos (conidiósporos ou conídios), subclasse Hyphomycetidae, pela ordem do Moniliales e da família Tuberculariaceae (conidióforos agrupados em esporodóquios) do gênero *Fusarium* (AGRIOS, 2005; MICHEREFF, 2001).

O potencial de dano ocasionado pela podridão vermelha da raiz na cultura da soja gera uma grande preocupação devido as perdas econômicas geradas na cultura, dessa forma induziu a pesquisa pela obtenção de cultivares com resistência genética, verificadas para várias espécies de *Fusarium* (NETO *et al.*, 2013).

Com diversas observações realizadas a campo e com o intuito de melhor entendimento sobre o agente causal dessa doença, como testes de diferentes cepas para verificar as características morfológicas, taxa de crescimento micelial, a patogenicidade, testes de biologia molecular e análises filogenéticas, conseguiram distinguir que o gênero *Fusarium* apresenta um complexo de quatro espécies no Brasil, como as espécies, a *Fusarium brasiliense* ap. nov., *Fusarium cuneirostrum* sp. nov., *Fusarium tucumaniae*, *Fusarium virguliforme* (AOKI *et al.*, 2005).

Costa *et al.* (2016) verificaram que cepas oriundas de amostras de plantas de soja trazidas da região Sul e Central do Brasil e comparadas com outras cepas das espécies já descritas, identificaram uma nova espécie que entra no complexo de espécies de *Fusarium*, caracterizado com base na análise fitogenética, cruzamento sexual, morfologia e testes de patogenicidade, classificado como *Fusarium paranaense*.

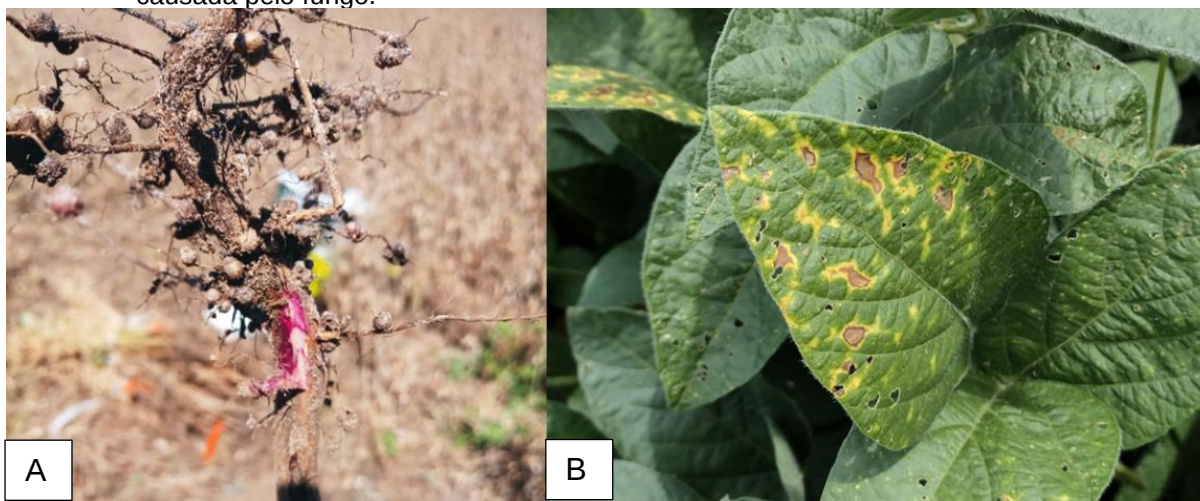
Mesmo havendo muitas espécies de *Fusarium*, as espécies que mais aparecem no ambiente brasileiro são *F. tucumaniae* e *F. virguliforme*, e devido à dificuldade e os sintomas serem semelhantes entre si, o *Fusarium* é tratado como um complexo, abordado como *Fusarium* spp. (AOKI *et al.*; 2005; ARRUDA *et al.*, 2005; OLIVEIRA, 2010, SANG *et al.*, 2018).

Devido a presença de estruturas de resistência em *Fusarium* spp, clamidósporos, em restos culturas como raízes no solo, o contato do patógeno com novas raízes faz com que ocorra a infecção com o hospedeiro, desenvolvendo uma má formação do sistema radicular comparado com raízes de plantas saudáveis. Observa-se coloração avermelhada entorno do colo e quando corta-se o caule, um escurecimento interno dos vasos condutores, devido ao entupimento do sistema vascular pelo desenvolvimento do patógeno, levando ao desenvolvimento de sintomas nas partes aéreas (Figura 1) (JACCOUD-FILHO; LES; NADAL, 2020; MCGOVERN, 2015).

O patógeno se desenvolve em temperaturas em torno de 25°C a 28°C, a temperatura ideal pode variar conforme a espécie, e desta forma, também influenciar o comportamento da infecção do patógeno nas raízes e cotilédones do hospedeiro (YAN; NELSON-JR, 2020).

A associação de alta umidade, compactação do solo e temperaturas amenas de 25°C possibilita maior chance de desenvolvimento do patógeno no ambiente, possibilitando maior disseminação do mesmo (MALVICK, 2018).

Figura 1 – Sintomas de coloração avermelhada em torno da raiz causada pelo *Fusarium* spp. na cultura da soja (*Glycine max*) [A]; sintoma na parte aérea da soja com necrose entre nervuras causada pelo fungo.



Fonte: Autor (2022).

2.1.2 Podridão de carvão (*Macrophomina phaseolina*)

A ocorrência de *M. phaseolina* é conhecida como podridão de carvão ou podridão cinzenta, tem a capacidade de infectar diversos hospedeiros (polífago) como feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.], feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), girassol (*Helianthus annuus* L.), soja (*Glycine max*), milho (*Zea mays* L.), algodão (*Gossypium arboreum* L), sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench (S. vulgare Pers.)] e outros (ALMEIDA *et al.*, 2014; COSTA *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Macrophomina phaseolina foi relatada pela primeira vez no Brasil na cultura do feijão com infecção na região da raiz das plantas (BITANCOURT, 1935). Uma das grandes preocupações em áreas produtoras com a presença de *M. phaseolina* é a dificuldade no planejamento de rotação de cultura, devido a capacidade de infecção de diversos hospedeiros. No entanto, sua maior incidência é no sistema de monocultivo ou em sistema de sucessão de culturas como soja e milho, tornando-se um patógeno com alto potencial de perda econômica no sistema de produção de grãos brasileiro (JACCOUD-FILHO; LES; NADAL, 2020; REIS *et al.*, 2014).

Esse patógeno manifesta-se com maior frequência e intensidade quando as plantas se encontram no estágio reprodutivo, com maior potencial de dano a cultura, principalmente em ambientes com estresse hídrico e com altas temperaturas médias (MICHEREFF *et al.*, 2005).

Outro aspecto a ser verificado que prevalece a infecção do patógeno nas plantas hospedeiras é o sistema de manejo utilizado no local, de forma que em áreas que tenha compactação de solo, baixa infiltração hídrica, prevalecendo maior estresse nas plantas, proporciona um ambiente propício ao desenvolvimento do patógeno sobre a área radicular e caule da planta hospedeira (LODHA; MAWAR, 2020).

O sistema utilizado de cultivo apresenta grande influência na concentração de microescleródios no solo em diferentes profundidades. Sistemas que realizam o revolvimento de solo proporcionam maior quantidade de inóculo, proporcionando maior potencial de infecção do fungo. Além do sistema de cultivo, o efeito clima influencia diretamente, de modo que em anos mais secos e quentes, amplia o potencial de inóculo, porém em sistemas de semeadura direta na palha auxilia na diminuição de microescleródios no solo (DIAS *et al.*, 2018).

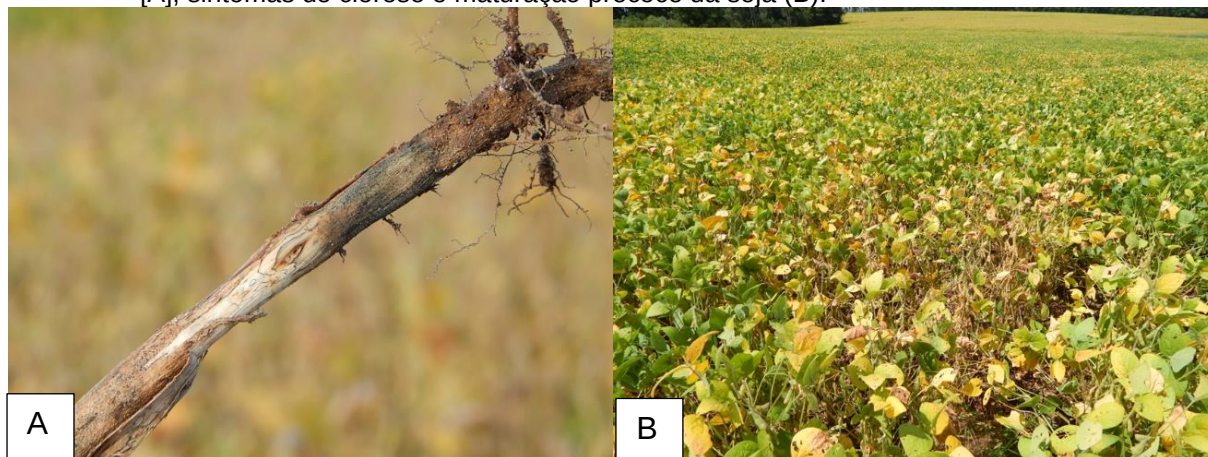
O fungo que pertence ao filo Ascomycota e família Botryosphaeriaceae, caracterizado pela produção de picnídios e escleródio em tecidos do hospedeiro e

meios de cultura (NDIAYE, 2007). A estrutura de resistência da *M. phaseolina* é o microescleródios, formadas por compactação de hifas, permitindo a capacidade do patógeno sobreviver no solo e em restos culturais em longo período, tornando a principal fonte de inóculo primário do fungo (ISHIKAWA *et al.*, 2018).

Os microescleródios presentes nos restos culturais (caule e raízes) das plantas são liberados no solo ao decorrer do tempo, e são essas estruturas que iram infectar novas plantas hospedeiras pela região do caule e da raiz, mas nem todos microescleródios germinam e infectam ao mesmo tempo, tornando-se então um grande potencial de inóculo por longo período, infectando plantas em estágios fenológicos diferentes, vegetativo e reprodutivo (ALMEIDA *et al.*, 2014).

Após a infecção pelos microescleródios, as plantas infectadas apresentam sintomas na área foliar e no caule (lesões geográficas) [Figura 2], reflexo que se dá devido a produção de toxinas do fungo e a obstrução dos vasos do xilema na planta hospedeira, levando a diminuição da translocação de solutos inorgânicos, diminuindo então a produtividade da planta, levando a morte da mesma (ISLAM *et al.*, 2012).

Figura 2 – Lesões geográficas causadas pela *Macrophomina phaseolina* cultura da soja (*Glycine max*) [A]; sintomas de clorose e maturação precoce da soja (B).



Fonte: Autor (2022).

2.1.3 Complexo *Diaporthe/Phomopsis* spp.

A disseminação dos patógenos compostos pelo complexo *Diaporthe/Phomopsis* é principalmente por sementes contaminadas e restos culturais da cultura da soja, podendo ser levados por maquinários de uma área contaminados para outra não contaminada, dessa forma, pode se verificar a incidência da doença em qualquer estágio de desenvolvimento da cultura. As maiores ocorrência de incidência são quando as plantas de soja se encontram no estágio de formação de vagens e maturação dos grãos (estado reprodutivo da cultura), principalmente em períodos chuvosos e temperaturas moderadas à elevadas, aumentando a exposição da cultura ao patógeno (JACCOUD-FILHO; LES; NADAL, 2020).

Os patógenos do complexo podem se encontrado em duas formas, teleomórfica (*Diaporthe*) ou anamórfica (*Phomopsis*), ou seja, na forma sexuada ou assexuada (LOPES; MICHEREFF, 2018).

O complexo de (*Diaporthe/ Phomosis*) está relacionada a três tipos de doenças, queima da haste e vagens (*Diaporthe phaseolorum* var. *sojae*/ *Phomopsis sojae*), cancro da haste (*Diaporthe aspalathi* [*Diaporthe phaseolorum* var. *meridionalis*] /*Phomopsis aspalathi*; ou *Diaporthe caulivora*/*Phomopsis phaseoli* var. *caulivora*) e podridão de sementes e raízes, conhecida apenas na forma anamórfica (*Phomopsis longicolla*). Os patógenos na forma teleomórfica apresentam peritécios (ascósporos) e picnídios na forma anamórfica, sendo que todos produzem conídios Alpha (α) e alguns produzem conídios tipo Beta (β), como a *P. sojae*, *P. caulivora* e *P. longicolla*, e a *P. aspalathi* produz também conídios irregulares [Figura 3] (JACCOUD-FILHO, 1996; YORINORI,1990).

O *Diaporthe phaseolorum* pertence ao filo Ascomycota, ordem Diaporthales, à família Diaporthaceae, classe Sordariomycetes e subclasse Sordariomycetidae (INDEX FUNGORUM, 2021).

Das doenças dentro do complexo *Diaporthe/Phomopsis* a queima da haste e vagem foi a primeira a ser relatada, sendo o cancro da haste a mais importante do complexo (ALMEIDA; SEIXAS, 2010). O cancro da haste inviabilizou diversas áreas agrícolas de soja com dano de 80% a 100% (YORINORI, 1996).

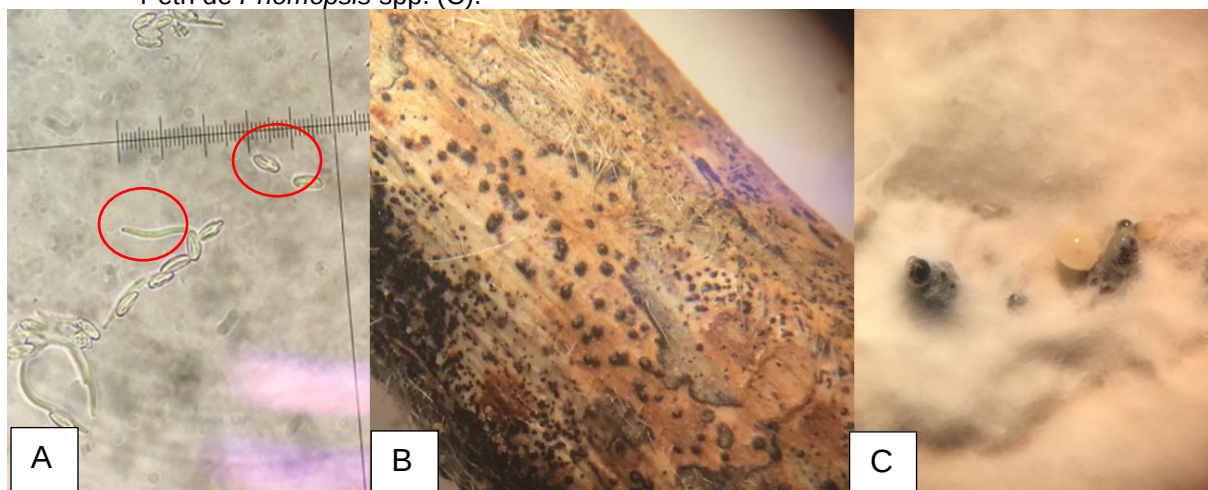
Após ocorrências do cancro da haste em áreas produtivas, cultivares de soja resistentes foram selecionadas para controle da doença, porém houve indícios de áreas produtivas com sinais de *D. aspalathi* em lavouras de soja nas safras 2016/17,

promovendo a capacidade de suplantar a resistência de genes resistentes ao mesmo, demonstrando a variabilidade genética do patógeno e podendo então desenvolver uma nova raça do patógeno com resistência gênica (FERREIRA *et al.*, 2018)

As duas espécies que causam a doença do cancro da haste na soja proporcionam sintomas nas hastes e nas folhas, iniciando em pequenos pontos negros, evoluindo para lesões castanho-avermelhadas a negras, alongadas e elípticas e adquirem coloração castanho-claro com bordas castanho-avermelhadas, que com o avanço da infecção, ocorre a obstrução da translocação de solutos via xilema, evoluindo com sintomas nas folhas de necroses entre as nervuras, denominadas de folhas carijós (YORINORI, 1996).

O fungo *P. longicolla* é um dos patógenos do complexo *Diaporthe/Phomopsis* que ocasiona o apodrecimento das sementes, raízes e hastes na cultura da soja. O nome da espécie é devido a presença de picnídios com um longo bico, e ocasiona sintomas de podridão radiculares em soja (geográfico da haste e raiz), sintomas produzidos também por outros patógenos como a *M. phaseolina* e outros do complexo *Diaporthe/Phomopsis* (JACCOUD-FILHO; LES; NADAL, 2020; ZACCARON *et al.*, 2014).

Figura 3 – Alfa (α) e Beta (β) conídios, característicos de *Phomopsis sojae* a 60x no microscópio óptico (A); picnídios de *Phomopsis* spp. na haste da soja (*Glycine max*) [B]; picnídios em placa de Petri de *Phomopsis* spp. (C).



Fonte: Autor (2022).

2.3 SENSORIAMENTO REMOTO

O Sensoriamento Remoto (SR) refere-se aos termos “remoto” que significa longe e “sensoriamento” significa a detecção de coisas a distância, ou seja, adquirir informações sobre objeto sem fazer nenhum contato físico Também definido pela Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (ASPRS) como a arte, ciência e tecnologia de obter informações confiáveis sobre objetos físicos e o meio ambiente, por processos de gravações, medição e interpretação de imagens e imagens digitais (GODOI *et al.*, 2018).

Definindo que o SR é uma ciência e tecnologia pela qual as características de objetos ou eventos de interesse podem ser identificadas, medidas ou analisadas sem contato direto com os sensores. A informação espectral depende das propriedades da luz após várias interações, isto é, reflexões, transmissões e absorção com o objeto (KREZHOVA, 2011).

O SR é uma das ferramentas utilizadas na agricultura de precisão, permitindo o monitoramento e possibilitando melhores diagnósticos das áreas de produção. Sua utilização no início na agricultura foi no auxílio de aplicação de fertilizantes de nitrogênio (N), potássio (K) e fosforo (P), reguladores de crescimento na cultura do algodão, inseticidas e herbicidas. Apesar de ser uma boa ferramenta para o monitoramento das áreas e formação dos mapas, o SR teve uma baixa exploração no início devido sua aplicação por satélites e aeronaves, tendo um custo alto para utilização e muitas vezes realizada para leituras do solo, onde não há mudanças em curto tempo, não necessitando várias leituras da área para a interpretação de dados (GRIFFIN; LOWENBERG-DEBOER, 2005).

Contudo, o desenvolvimento de equipamentos que acoplam os sensores para o uso na agricultura de precisão surgiu como uma grande oportunidade, apresentando um menor custo e além de terem um tamanho reduzido ao comparar com aeronaves pilotadas. Essas equipamento são denominados de aeronaves remotamente pilotadas (RPAs – do inglês *remotely piloted aircraft*), conhecidas popularmente como VANT (veículo aéreo não tripulado) ou drone (zangão em inglês). A denominação RPA para esses equipamentos foi adotada a partir de novembro de 2015, com a regulamentação do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e a Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA) 100-40 (JORGE *et al.*, 2014; DECEA, 2015).

Usa-se três domínios espectrais distintos da refletância da vegetação, sendo elas separadas pelo comprimento de onda como o domínio visível (VIS: 0,4-0,7 μm), domínio infravermelho próximo (NIR: 0,7-1,3 μm) e domínio infravermelho médio ou infravermelho de onda curta (SWIR: 1,3-2,5 μm). Dessa forma as propriedades espectrais da vegetação são definidas pela composição biofísicas e bioquímicas das plantas. Portanto, cada domínio expressa um nível diferente de absorção e refletância nas partes vegetais, como por exemplo, o domínio visível abrange os principais pigmentos absorventes de luz as clorofilas a e b, carotenoides, xantofilas e polifenóis, enquanto o domínio infravermelho próximo tem a absorção baixa, mas apresenta refletância e a transmitância nos seus valores máximos (SAHOO *et al.*, 2015).

As plantas apresentam respostas de acordo com o local onde elas são cultivadas, podendo sofrer estresses abióticos ou bióticos, como interferência do pH do solo, deficiência de nutrientes, excesso ou falta de luz e água e por fim os ocasionados por fatores patogênicos (SALISBURY; ROSS, 2012). Essas mudanças nas plantas podem alterar as características biofísicas e bioquímicas, que com o uso de sensores, detecta-se nível de refletância diferente de plantas estressadas ou doentes, devido as bandas de NIR não serem refletidas pelas células do mesófilo, mas são absorvidas pelas células estressadas ou mortas, resultando em tons escuros na imagem (GODOI *et al.*, 2018).

2.4 IDENTIFICAÇÃO DE DOENÇAS POR SENSORIAMENTO REMOTO

Diversos trabalhos utilizando técnicas de sensoriamento para identificar doenças em inúmeras culturas, entre grãos, fibras, frutíferas e hortaliças, já foram executados (Tabela 2), mostrando-se como uma ferramenta viável e confiável para a identificação de doenças do sistema radicular, parte aérea e causadas por patógenos de solos (MAHLEIN, 2016).

Garcia-Ruiz *et al.* (2013) compararam a eficácia da detecção de doença de Huanglongbing (*Candidatus liberibacter asiaticus*) em pomar de laranja de cultivar Valencia no Centro de Pesquisas e Educação em Citrinos (CREC) da universidade da Flórida, em Lake Alfred, Flórida, obtendo resultados de 67 a 85% de precisão de classificação por RPA e 61 a 74% em sensor de aeronave, demonstrando assim, que o sensoriamento por RPA é confiável e de baixo custo para a detecção de doença.

Na cultura da soja trabalhos realizados no Brasil com tecnologia de sensoriamento para identificação de doenças apresentam maior foco na área de doenças foliares, principalmente a ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*), e danos causados por nematoides, como nematoide de cisto da soja (*Heterodera glycines*) e nematoide de galha (*Meloidogyne* sp) para uma melhor execução de estratégia para controle dos mesmos (ARANTES et al., 2019; BAJWA et al., 2017; LACERDA, 2016; SANTOS-JUNIOR et al., 2002).

Projetos de pesquisa utilizando essa tecnologia para identificar fungos de solo na cultura da soja no Brasil ainda incipiente, reforçando assim a necessidade do desenvolvimento de projetos com esse importante objetivo. A interpretação e o entendimento do SR utilizado na identificação de doenças na cultura da soja é fundamental para buscar novas ferramentas para se obter novas dinâmicas em futuros trabalhos, possibilitando dessa forma maior exatidão e agilidade em tomada de decisão mais assertivas (WENDLING, 2014).

Tabela 2 - Exemplos de estudos sobre detecção de doenças de plantas por diferentes sensores óticos (MAHLEIN, 2016).

(continua)

Sensor	Cultura	Doença/Patógeno	Local	Referências
RGB	Algodão	Cancro-bacteriano (<i>Xanthomonas campestris</i>), Queima da Ascochyta (<i>Ascochyta gossypii</i>)	Estados Unidos	Camargo; Smith (2009)
	Batata	Requeima (<i>Phytophthora infestans</i>), Podridão mole (<i>Pectobacterium atrosepticum</i>)	Escócia, Japão	*Gibson-Poole <i>et al.</i> (2017); *Sugiura <i>et al.</i> (2016)
	Soja	Mancha alvo (<i>Corynespora cassiicola</i>), Oídio (<i>Erysiphe diffusa</i>)	Brasil	*Tetila <i>et al.</i> (2017)
	Beterraba	Mancha de Cercosporiose (<i>Cercospora beticola</i>), Ferrugem da beterraba (<i>Uromyces betae</i>), Mancha da Romulária (<i>Romularia beticola</i>), Mancha-de-Phoma (<i>Phoma betae</i>), Mancha bacteriana das folhas (<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>aptata</i>)	Alemanha	Neumann <i>et al.</i> (2014)
	Toranja	Cancro citrico (<i>Xanthomonas axonopodis</i>)	Estados Unidos	Bock <i>et al.</i> (2008)
	Tabaco	Anthraxose (<i>Colletotrichum destructivum</i>)	Canadá	Wijekoon <i>et al.</i> (2008)
Sensor espectral (Multiespectral e Hiperespectral)	Cevada	Mancha em rede (<i>Pyrenophora teres</i>), Ferrugem (<i>Puccinia hordei</i>),	Alemanha	Kuska <i>et al.</i> (2015)
	Trigo	Fusariose (<i>Fusarium graminearum</i>), Ferrugem linear (<i>Puccinia striiformis</i> f. sp. <i>tritici</i>)	Alemanha, Reino Unido, China	Bauriegel <i>et al.</i> (2011); Bravo <i>et al.</i> (2003); Huang <i>et al.</i> (2007); Moshou <i>et al.</i> (2004)
	Beterraba	Mancha de Cercosporiose (<i>C. beticola</i>), Ferrugem da beterraba (<i>Uromyces betae</i>), Oídio (<i>Erysiphe betae</i>), Podridão da raiz (<i>Rhizoctonia solani</i>), Rhizomania (necrose amarela da beterraba por vírus)	Alemanha	Mahlein <i>et al.</i> (2010, 2012, 2013); Hillnhütter <i>et al.</i> (2011); Bergstrasser <i>et al.</i> (2015); Rumpf <i>et al.</i> (2010); Steddom <i>et al.</i> (2003, 2005)
	Tomate	Requeima-do-tomateiro (<i>Phytophthora infestans</i>)	China	Wang <i>et al.</i> (2008)
	Tulipa	Tulip breaking virus (TBV)	Holanda	Podler <i>et al.</i> (2014)
	Cana-de-açúcar	Ferrugem alaranjada da cana (<i>Puccinia kuehnii</i>)	Austrália	Apan <i>et al.</i> (2004)
	Videira	Flavescência dourada (<i>Grapvine flavescence dorée phytoplasma</i>)	França	*Albertis <i>et al.</i> (2017, 2018)
	Oliveira	Verticilose (<i>Verticillium dahliae</i> Kleb)	Espanha	*Calderón <i>et al.</i> (2013)

*Trabalhos adicionados para a atualização da tabela de Mahlein (2016).

Tabela 2 – Exemplos de estudos sobre detecção de doenças de plantas por diferentes sensores ópticos (MAHLEIN, 2016).

(conclusão)				
Sensor	Cultura	Doença/ Patógeno	Local	Referências
Sensor espectral (Multiespectro e Hiperespectral)	Soja	Nematoide cisto da soja (<i>Heterodera glycines</i>), Síndrome da morte súbita (<i>Fusarium solani</i> f. sp. <i>glycines</i> - <i>F.virguliforme</i>)	Estados Unidos	*Bajwa <i>et al.</i> (2017);
	Soja	Nematoide cisto da soja (<i>Heterodera glycines</i>), Nematoide de galha (<i>Meloidogyne</i> sp.), Ferrugem asiática (<i>Phakopsora pachyrhizi</i>)	Brasil	*Arantes <i>et al.</i> (2019); *Lacerda (2016); *Santos-Junior <i>et al.</i> (2002); *Wendling (2014)
	Batata	Requeima (<i>Phytophthora infestans</i>)	Suíça	*Nebiker <i>et al.</i> (2016)
Sensor Térmico	Beterraba	Mancha de Cercosporiose (<i>C. beticola</i>),	Holanda	Chaerle <i>et al.</i> (2004)
	Oliveira	Verticilose (<i>Verticillium dahliae</i> Kleb)	Espanha	*Calderón <i>et al.</i> (2013)
	Pepino	Míldio (<i>Pseudoperonospora cubensis</i>), Oídio das Cucurbitáceas (<i>Podosphaera xanthii</i>)	Alemanha	Oerke <i>et al.</i> (2006); Berdugo <i>et al.</i> (2014)
	Maçã	Sarna da maçã (<i>Venturia inaequalis</i>)	Alemanha	Oerke <i>et al.</i> (2011)
Imagem fluorescente	Trigo	Ferrugem da folha (<i>Puccinia triticina</i>), Oídio (<i>Blumeria graminis</i> f.sp. <i>tritici</i>)	Alemanha	Burling <i>et al.</i> (2011)
	Beterraba	Mancha de Cercosporiose (<i>C. beticola</i>)	Holanda	Chaerle <i>et al.</i> (2007); Konanz <i>et al.</i> (2014)
	Feijão	Crestamento bacteriano comum (<i>Xanthomonas fuscans</i> sub sp. <i>fuscans</i>)	França	Rousseau <i>et al.</i> (2013)

*Trabalhos adicionados para a atualização da tabela de Mahlein (2016).

2.5 MACHINE LEARNING EM IDENTIFICAÇÃO DE DOENÇAS.

O auxílio da computação para a agricultura proporciona interpretação de “*Big datas*”, agilidade e melhor qualidade de interpretação desses conjuntos de dados, principalmente devido a Inteligência Artificial (IA) com estudo nas áreas de linguagem natural, representação de conhecimento, raciocínio automatizado e Machine Learning (ML) (LAKE *et al.*, 2017; PAN, 2016; RUSSELL *et al.*, 2003)

As técnicas de ML são abordagens para a resolução de problemas de classificação e regressão, tendo a capacidade de aprender o problema em questão, podendo identificar quais são os indivíduos propostos de cada ambiente, a partir de um conjunto de dados sem conhecimentos prévios desse mesmo sistema, modelando sistemas complexos, utilizando alguns algoritmos como Decision Tree (DT), Random Forest (RF), k-NN, Suport Vector Machines (SVM) e Rede Neural Artificial (RNA). (BALLANTI *et al.*, 2016; FERET; NEVALAINEN *et al.*, 2017).

A ML proporciona várias melhorias nas atividades agrícolas, tanto em operações no cotidiano de trabalho e na área de pesquisa, como realização de voos autônomos e identificações de obstáculos durante os voos de RPA, para realização de captura de fotos aéreas e na aplicação de insumos agrícolas via RPA, proporcionando também a leitura de necessidade de adubação em diversas culturas e identificação de reboleiras de plantas daninhas e demais situações que agilizam a tomada de decisões (CHOI; CHA, 2019).

O uso da ML para identificação de doença radiculares na cultura da soja tem se mostrado de grande eficiência, podendo aderir algoritmos capazes de interpretar e identificar plantas doentes e saudáveis em áreas produtivas de soja em relação a nematoides *Pratylenchus brachyurus* e em *Fusarium* spp com porcentagens de exatidão acima de 75% (ARANTE, 2019; NOGUEIRA, 2020; RAZA *et al.*, 2020).

Mesmo havendo grande número de trabalho buscando resultado sobre o ML, ainda existe necessidade de dados mais específicos sobre informações extraídas por RPA sobre imagens de lavouras para identificação de pragas, doenças, plantas daninhas e outros parâmetros agrônômicos, visando sempre maior qualidade de dados para se apropriar de melhores resultados para introduzir no campo (FARIAS, 2021).

3 OBJETIVOS

2.6 OBJETIVO GERAL

Avaliar o uso de imagens obtidas por RPA para identificação de sintomas de manchas ocasionadas por patógenos de solo na cultura da soja em duas safras na região de Ponta Grossa e uma safra em Wenceslau Braz, Estado do Paraná.

2.7 OBJETIVO ESPECÍFICOS

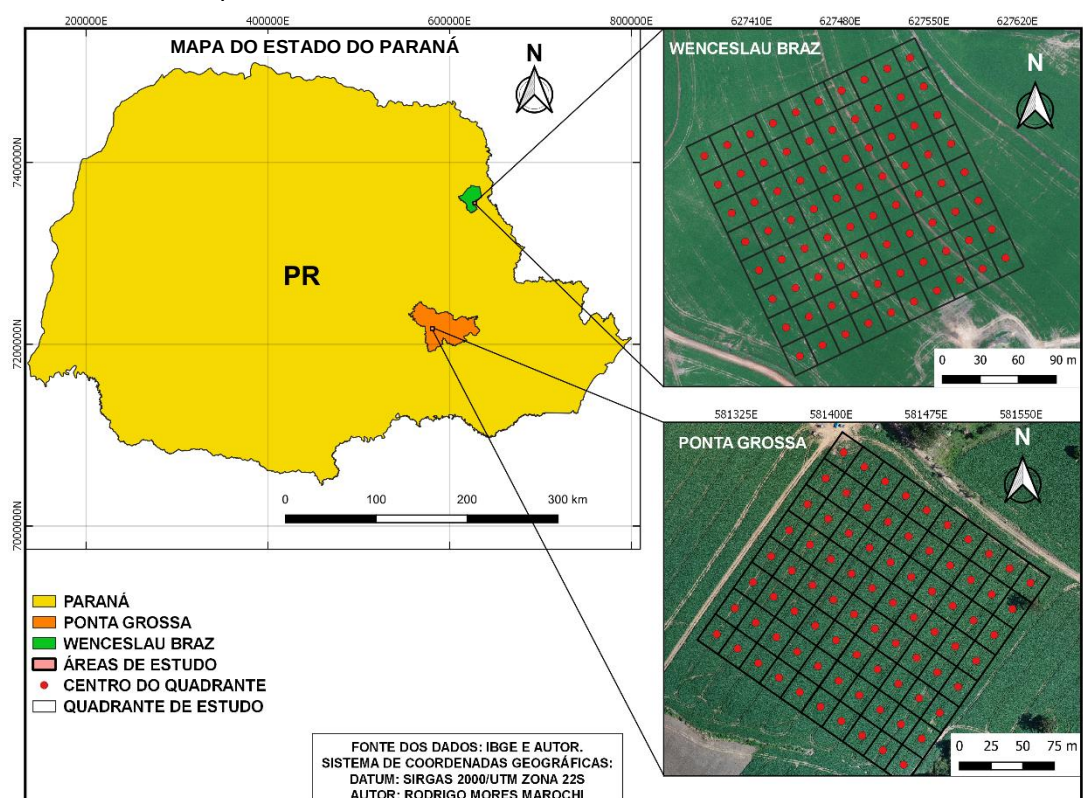
- I. Comparar os valores obtidos de refletância das bandas nos diferentes estádios fenológicos da soja verificando a correlação de plantas infectadas por patógenos de solo.
- II. Analisar viabilidade de “*machine learning*” em identificar plantas infectadas com patógenos de solo com os dados obtidos a campo nos dois locais de estudo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

2.8 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

O estudo foi conduzido em duas áreas distintas, com histórico de manchas em lavouras ocasionadas por patógenos de solo, na cultura da soja, uma em Ponta Grossa e a outra em Wenceslau Braz-PR (Figura 1). Na área de Ponta Grossa o estudo foi realizado em duas safras, 2019/20 e 2020/21.

Figura 4 – Localização geográfica das áreas de estudo com a cultura da soja (*Glycine max*) nos municípios de Ponta Grossa e Wenceslau Braz - PR.



Fonte: Autor (2022).

A área de Ponta Grossa está situada nas coordenadas geográficas de 23°54'20,56" de latitude Sul, 49°44'47,21" de longitude Oeste, a 820 m de altitude, encontrando-se no segundo planalto (Planalto de Ponta Grossa), pertence a mesorregião Centro Oriental Paranaense (IPARDES, 2012). A classificação climática de Köppen se caracteriza como Cfb – clima temperado; temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C e sem estações seca definida, com uma precipitação

média anual 1400 a 1600 mm, sendo janeiro o mês mais chuvoso e agosto o mais seco. A temperatura média anual de 17,1°C a 18°C, com a temperatura média mais quente (janeiro) variando de 24,1°C a 25°C, e mais frio variando de 13,1°C a 14°C com temperatura mínima absoluta de 8,1°C a 9°C (IAPAR, 2020). O solo da região se classifica como Latossolo e Cambissolo (ICTG, 2008).

A semeadura da cultura da soja da safra 2019/20 foi realizado no sistema de semeadura direta sobre a palhada de aveia branca (*Avena sativa*), em 15 de outubro de 2019, em espaçamento entrelinhas de 0,5 m com 13 plantas por metro para se ter uma população final de 370.000 plantas por hectare. Foi utilizado adubação de 370 kg por hectare de adubo (NPK) da formulação base 02-17-17 e a cultivar utilizada foi a Nideira NA 5909 RG.

Na segunda safra (2020/21) a semeadura da cultura da soja foi realizado em 12 de outubro de 2020, em espaçamento entrelinha de 0,5 m com 13 plantas por metro para se ter uma população final de 170.000 plantas por hectare. A adubação utilizada foi de 300 kg por hectare de adubo (NPK) da formulação base 05-25-25 e a cultivar utilizada foi a TMG 7262 RR.

A área de estudo em Wenceslau Braz está situada nas coordenadas geográficas 25° 09'14,12" de latitude Sul, 50°11'31,51" de longitude Oeste e 720 m de altitude, localizado no segundo planalto paranaense, mais especificamente, no planalto de Ponta Grossa, dentro da mesorregião Norte Pioneiro Paranaense (GIL, 1995 apud EMBRAPA, 1998; IPARDES, 2012). A classificação climática de Köppen da região se caracteriza como Cfa – mesotérmico úmido, sem estação seca, com verões quentes, temperatura média do mês mais quente superior a 22°C, com frequente ocorrência de geadas. A precipitação média anual é de 1200 a 1400 mm. Temperatura média anual de 18°C a 20°C, com a temperatura média mais quente (janeiro) variando de 20°C a 24°C, e mais frio (julho) variando de 14°C a 16°C e a temperatura mínima absoluta variando de 10,1°C a 11°C (EMATER, 1990 apud EMBRAPA, 1998; IAPAR, 2020). O solo da região é classificado como Latossolo (ICTG, 2008). A semeadura da cultura da soja foi realizada no sistema de semeadura direta sobre a palhada de aveia preta (*Avena strigosa*), em 17 de novembro de 2019, em espaçamento entrelinhas de 0,45 m com 18 plantas por metro para se ter uma população final de 410.000 plantas por hectare. Foi utilizado adubação de 268 kg por hectare de adubo (NPK) da formulação base 04-30-10 e a cultivar plantada foi a Brasmax Lança IPRO.

Em ambos os locais os tratos culturais realizados na cultura foram mantidos os padrões dos produtores, não havendo nenhuma interferência no manejo realizado na cultura, desde os herbicidas até as aplicações de fungicidas e inseticidas.

Dentro dos dois locais de estudo foi selecionado uma área de 4 ha para realização da coleta de dados a campo, onde foram divididas em 80 grades amostrais, mensurando 500 m² cada grade amostral com o dimensionamento de 20 x 25 m.

2.9 DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

A RPA utilizada para realizar a coleta das imagens aéreas foi um Inspire 2 da Dji (Figura 2), que se conecta com o sistema de plano de voo com o software GS Pro. A câmera utilizada foi a Sentera Double 4K, câmera com uma variante multiespectral capaz de capturar cinco bandas espectrais precisas: azul (446 nm), verde (548 nm), vermelho (650 nm), borda vermelha – Red Edge (720 nm) e infravermelho próximo - NIR (850 nm) (SENTERA, 2020).

Figura 5 – Equipamentos para coleta de imagens aéreas na cultura da soja (*Glycine max*). RPA Inspire 2 DJI (A); câmera multiespectral Sentera Double 4K (B).



Fonte: Autor (2022).

2.10 PLANO DE VOO e ORTOMOSAICO

Para realizar o planejamento de voo em ambas as áreas foi utilizado software GS PRO da empresa DJI, onde foram realizadas as delimitações de um polígono da área onde para realizar a atividade, montou-se as faixas de voos do posicionamento da RPA para obtenção das imagens aéreas. A resolução das imagens adotada foi de 3,5 cm/pixel com sobreposição lateral de 70% e longitudinal de 70% com uma altura de 60 m.

Após a obtenção das imagens obtidas pela RPA, foi realizado a formação dos ortomosaicos, inserindo as imagens de cada voo com o sensor utilizado no software Pix4d®.

As datas dos voos que foram realizados nas duas safras na cultura da soja estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3 - Datas de voos realizados nas áreas de estudo nas safras 2019/20 e 2020/21 com a cultura da soja (*Glycine max*), nos municípios de Ponta Grossa e Wenceslau Braz – PR, 2022.

LOCAL	DATA DE VOO	¹ ESTÁDIO FENOLÓGICO DA CULTURA
PONTA GROSSA	26/12/2019	V6
	14/01/2020	R2
	24/01/2020	R4
	20/02/2020	R6
	20/02/2021*	R 5.5
WENCESLAU BRAZ	13/12/2019	V4
	26/12/2019	V6
	14/01/2020	R3
	12/02/2020	R5.5

*Voo realizado na safra 2020/21. ¹Escala proposta por Fehr; Caviness (1977). Fonte: Autor (2022).

2.11 GEORREFERENCIAMENTO DAS IMAGENS OBTIDAS

Para executar o georreferenciamento das imagens obtidas foi utilizado um receptor da marca Spectra SP60 (Figura 3), um receptor GNSS (Global Navigation Satellite System), onde os pontos georreferenciados para efetuar a devida correção das imagens geradas no RPA, foram coletados pontos como estruturas físicas do local, postes, meio fio, árvores isoladas com mais 4 placas GCP (*Groud Control Points*) para usar como pontos de apoio e ponto de controle. Esses dados foram coletados após a colheita da cultura do local, para se obter maior precisão dos dados de altimetria para realização dos valores de curva de níveis da área. Os dados foram inseridos no software Pix4d® no momento de realizar o ortomosaico.

Figura 6 – Receptor GNSS Spectro SP60 sobre uma GCP coletando dados com a cultura da soja (*Glycine max*).



Fonte: Autor, 2022.

2.12 AVALIAÇÕES A CAMPO

Os dados levantados dentro das grades foram identificação dos patógenos de solo associados com as doenças de soja segundo as metodologias propostas por: AGRIOS (2005); ALMEIDA; SEIXAS (2010); REIS; CASA (2012); YORINORI *et al.* (2018); JACCOUD-FILHO *et al.* (2020). Os sintomas nas folhas de clorose ou “carijós”, murcha e desfolha precoce nas plantas de soja foram utilizadas para identificar quais patógenos presentes nas áreas estudadas dentro dos quadrantes (Figura 4). Para quantificar a porcentagem dos diferentes fungos encontrados nas duas áreas de estudo foram coletadas 20 plantas ao acaso dentro do quadrante, assim identificando qual patógeno estava infectando a planta de soja.

Nas plantas com sintomas de desenhos geográficos no sistema radicular e no caule, foram realizados isolamento para distinguir e identificar a população de patógenos que está presente nas áreas, pois os fungos *M. phaseolina* e *Phomopsis* spp estão associados a esses mesmos sintomas JACCOUD-FILHO *et al.* (2020) (Figura 5).

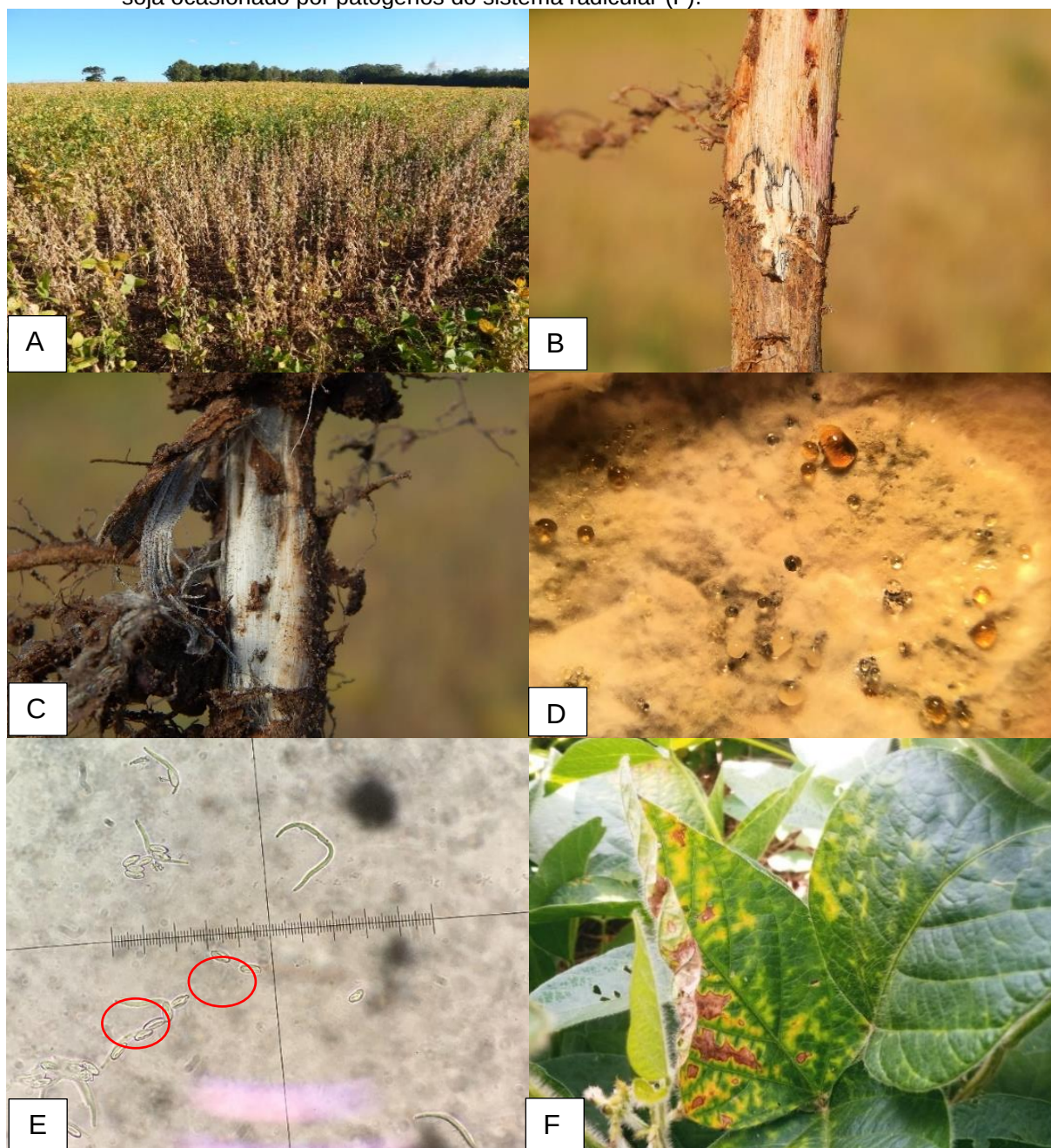
Nas plantas com sintomas de desenhos geográficos no sistema radicular e no caule, foram realizados isolamento para distinguir e identificar a população de patógenos que está presente nas áreas, pois os fungos *M. phaseolina* e *Phomopsis* spp estão associados a esses mesmos sintomas JACCOUD-FILHO *et al.* (2020) (Figura 5). O isolamento desses patógenos presentes nesses materiais foram utilizadas placas de Petri com meio de cultura Batata-Dextrose-Ágar (BDA). Após o isolamento, as placas foram incubadas em câmara tipo BOD a 25°C até o desenvolvimento das estruturas características dos fungos, conforme metodologia normalmente utilizada (CAROLLO; SANTOS-FILHO, 2016).

Os quadrantes nas áreas foram classificados como “com” ou “sem” manchas nas lavouras ocasionadas por patógenos de solo e transformados em valores binários.

Foram coletados os dados a partir dos centroides formados nas grades amostrais nas áreas para as análises de altura de planta (cm) e altura da primeira inserção de vagem (cm) constituídas por uma média de 10 plantas, população de estande em duas linhas de 2 m corrigido em plantas/ha, produtividade, onde foram colhidas as plantas de duas linhas de 5 m de comprimento, trilhadas e pesadas, sendo o peso em kg. ha⁻¹ corrigido para 13% de umidade. Foi utilizado um aparelho de GPS

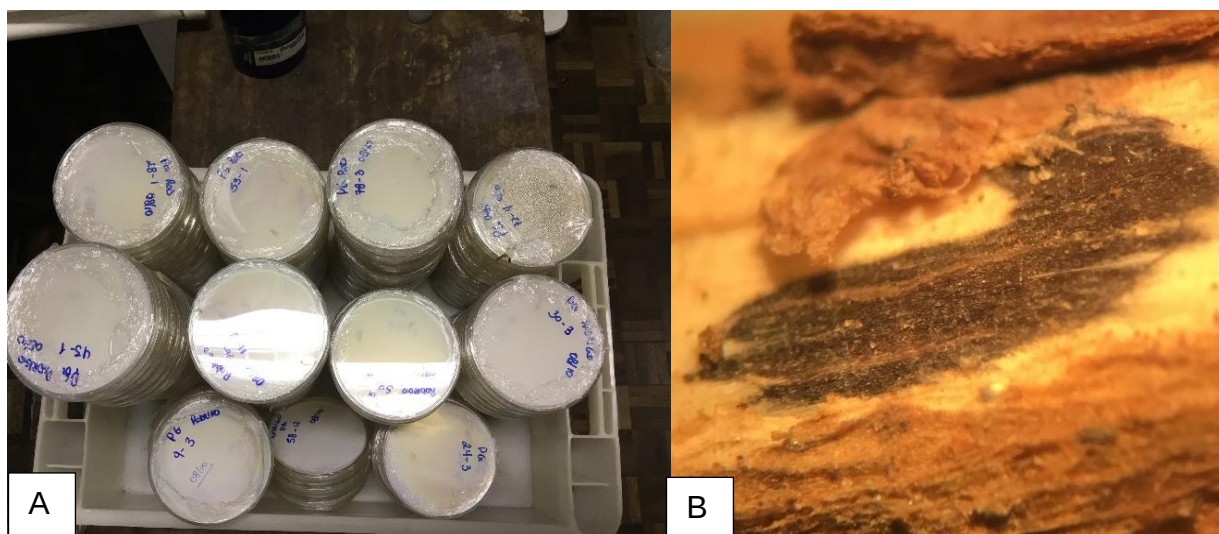
(*Global Positioning System*) para localizar o posicionamento dos centroides das grades amostrais no campo para se realizarem as avaliações e as coletas de dados de campo.

Figura 7 – Demonstração de sintomas e estruturas de patógenos de solo da cultura da soja (*Glycine max*), Ponta Grossa e Wenceslau Braz - PR, 2022. Mancha de solo ocasionada por patógeno de solo com desfolha precoce (A), sintomas de *Fusarium* spp. e *Phomopsis* spp. na soja (B), microescleródios de *Macrophomina phaseolina* na raiz da soja (C), picnídios em placa de Petri de *Phomopsis* spp. (D), Alfa (α) e Beta (β) conídios, característicos de *Phomopsis sojae* a 60x no microscópio óptico (E), sintomas de clorose nas folhas “carijós” da soja ocasionado por patógenos do sistema radicular (F).



Fonte: Autor (2022).

Figura 8 – Isolamento direto de plantas de soja (*Glycine max*) com sintomas de doenças na região radicular e caule, Ponta Grossa e Wenceslau Braz – PR, 2022. Placas de Petri com BDA com isolamento diretos dos locais de estudo – A, sintoma de desenho geográfico na soja na lupa – B.



Fonte: Autor (2022).

2.13 EXTRAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS POR RPA.

Os dados obtidos do ortomosaico das áreas foram extraídos no software QGIS, obtendo os valores médios de cada grade amostral dos valores das bandas R (vermelho), G (verde) e B (azul), NIR (infravermelho), RE (red edge), NDRE, NDVI e altitude (m) em uma circunferência de 50 m².

Para os valores de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), ou seja, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, foi utilizado a equação expressada como:

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS} \quad (1)$$

Onde: NIR é o infravermelho próximo, VIS é a refletividade vermelha da imagem (JENSEN, 2011).

Para os valores de NDRE (Normalized difference red edge), ou seja, Diferença normalizada na Banda do Vermelho, foi utilizado a equação expressada como:

$$NDRE = \frac{NIR - RE}{NIR + RE} \quad (2)$$

Onde NIR é o infravermelho próximo, RE é a energia refletida no intervalo de onda “red edge” do espectro eletromagnético (BARNES *et al.*, 2000).

2.14 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados obtidos a campo e extraído no QGIS foram processados os algoritmos de ML no software Weka e no SynthesisFS, verificando quais atributos (variáveis) apresentaram maior importância pelo ranking e qual ou quais algoritmo(s) pelo maior índice de coeficientes de correlação sobre a identificação de plantas com patógenos de solo e a correlação dos patógenos encontrados nas áreas estudadas.

O software SynthesisFS utiliza separadamente cada técnica de seleção de atributos implementada no ambiente Weka e compila um ranqueamento de atributos com base na síntese dos resultados de execução de diversos algoritmos como CfsSubsetEval, ClassifierAttributeEval, ClassifierSubsetEval, ReliefFAttributeEval e WrapperSubsetEval, avaliando quais atributos que mais aparece com maior frequência em todos os classificadores estabelecendo um ranqueamento (SANTOS, 2016).

Foi realizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, para verificar se os dados que foram trabalhados eram paramétricos ou não, e de acordo com os resultados das análises, para os valores não paramétricos foi utilizado o teste de Wilcoxon para verificar a diferença entre as populações dos quadrantes com e sem patógenos de solo, para os dados paramétricos foi utilizado o test T de Student. Os dados dos patógenos sobre o relevo das áreas foram realizados no teste de correlação de Person e Spearman. Esses dados estatísticos foram realizados no programa RStudio.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 PONTA GROSSA -PR

5.1.1 Identificação, incidência e influência na soja dos patógenos de solo

A caracterização dos patógenos foi realizada com as observações realizadas a campo e com as coletas das plantas dentro das reboleiras no início da maturação fisiológica (Figura 6) da soja em cada quadrante. Posteriormente, as plantas coletadas foram analisadas em laboratório para se determinar com maior exatidão a identificação dos agentes patogênicos em comparação com a literatura (AGRIOS, 2005; ALMEIDA; SEIXAS 2010; REIS; CASA 2012; YORINORI *et al.*, 2018; JACCOUD-FILHO; LES; NADAL, 2020).

Figura 9 – Reboleiras em lavoura de soja (*Glycine max*) dentro da área de estudo ocasionado por patógenos de solo, Ponta Grossa, PR, 2022.

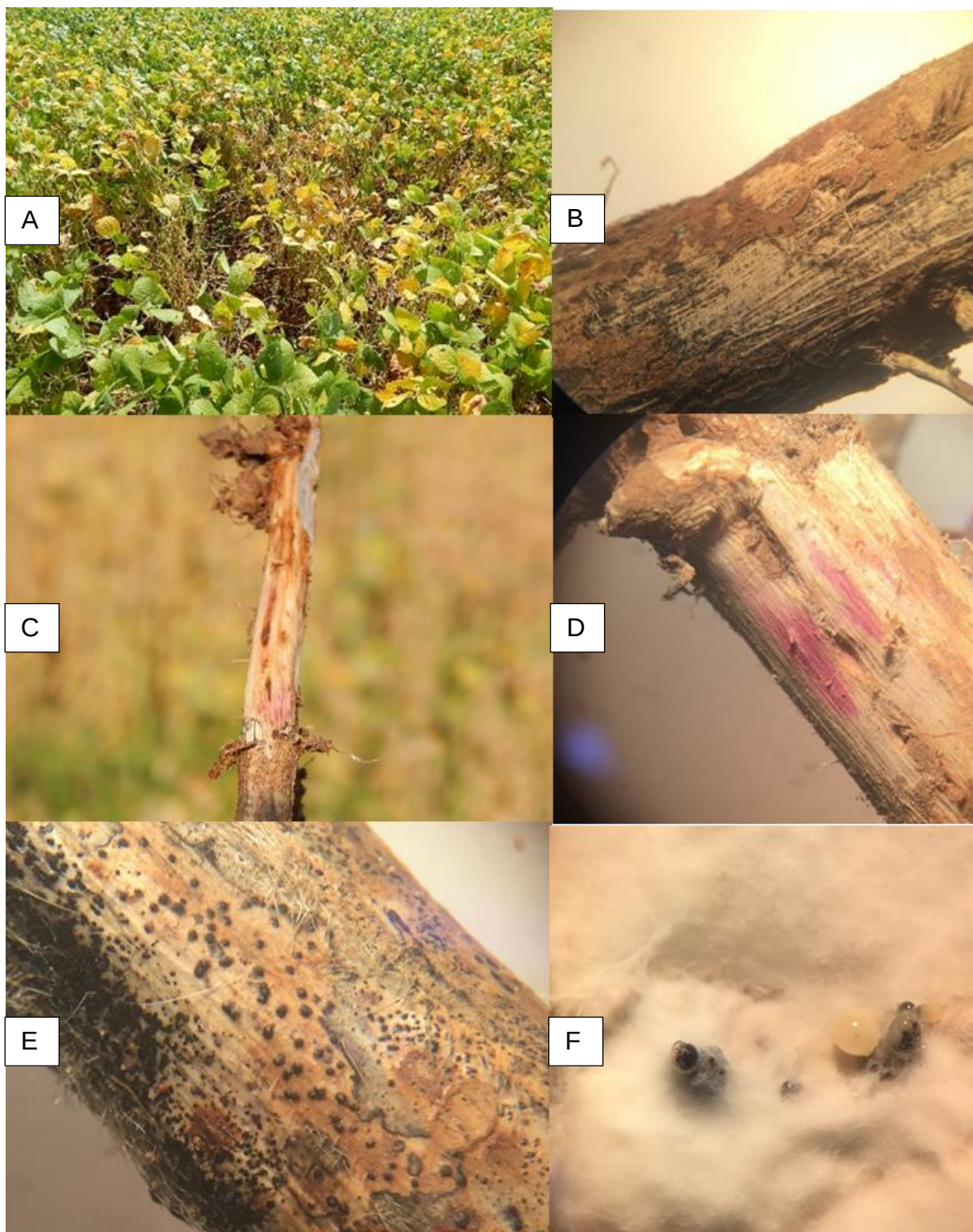


Fonte: Autor (2022).

Na safra 2019/2020 foi observado que em 73 quadrantes da área de estudo estavam com patógenos de solo, 91,25% dos quadrantes com presença de fungos do sistema radicular e da haste da soja e, 8,75% (Figura 7) sem presença dos patógenos de solo. Os fungos patogênicos que ocorreram na área foram do gênero *Fusarium* sp, *Macrophomina* sp e *Phomopsis* sp.

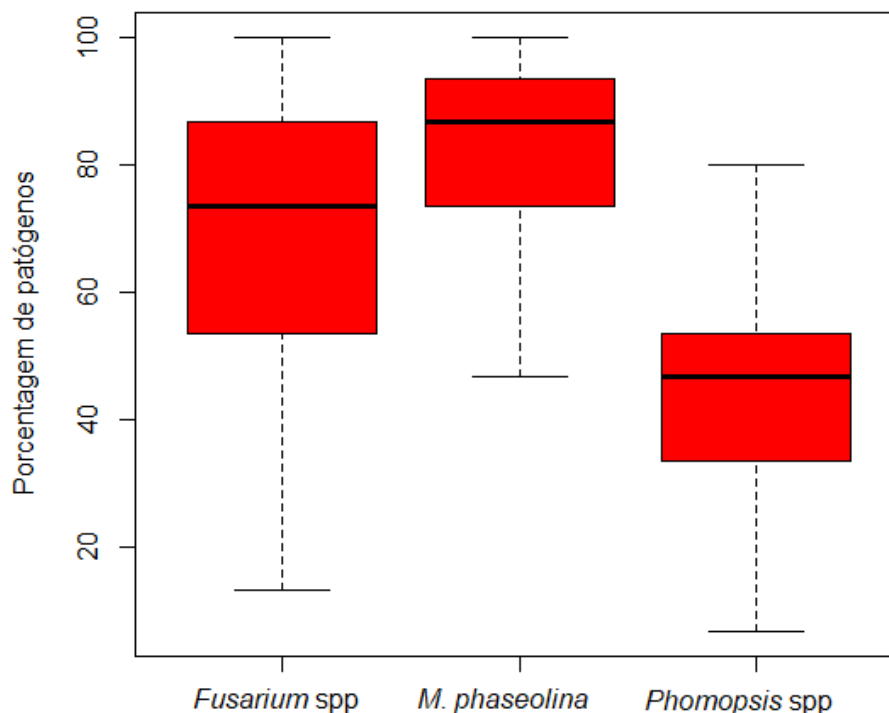
Após a identificação dos patógenos pelos seus sintomas presentes nas plantas de soja e comparados com literatura (AGRIOS, 2005; ALMEIDA; SEIXAS 2010; REIS; CASA 2012; YORINORI *et al.*, 2018; JACCOUD-FILHO; LES; NADAL, 2020) (Figura 7), foi analisado a proporção dos fungos fitopatogênicos causadores de doença, verificando-se que o *Fusarium* spp. e *M. phaseolina* tiveram maior ocorrência dentro da população em estudo, com uma média de 69,0% e 83,0% respectivamente e de 46,6 % para o fungo *Phomopsis* spp. Outro ponto observado foram a variabilidade dos patógenos nos quadrantes, podendo variar para o *Fusarium* spp. de 13,0% a 100,0%, *M. phaseolina* de 47,0% a 100,0% e para o *Phomopsis* spp. variação de 0,0% a 80,0, apresentando menor média entre os patógenos (Gráfico 1).

Figura 10 – Sintomas e estruturas de patógenos de solo na cultura da soja (*Glycine max*), Ponta Grossa, PR, 2022. Mancha de solo ocasionada por patógeno de solo com desfolha precoce (A), microescleródios de *Macrophomina phaseolina* na raiz da soja (B), raiz de soja com mais de um patógeno infectado (C), sinais de coloração avermelhada ocasionado pelo *Fusarium* spp. (D), picnídios de *Phomopsis* spp na haste da soja (E), picnídios em placa de Petri de *Phomopsis* spp.



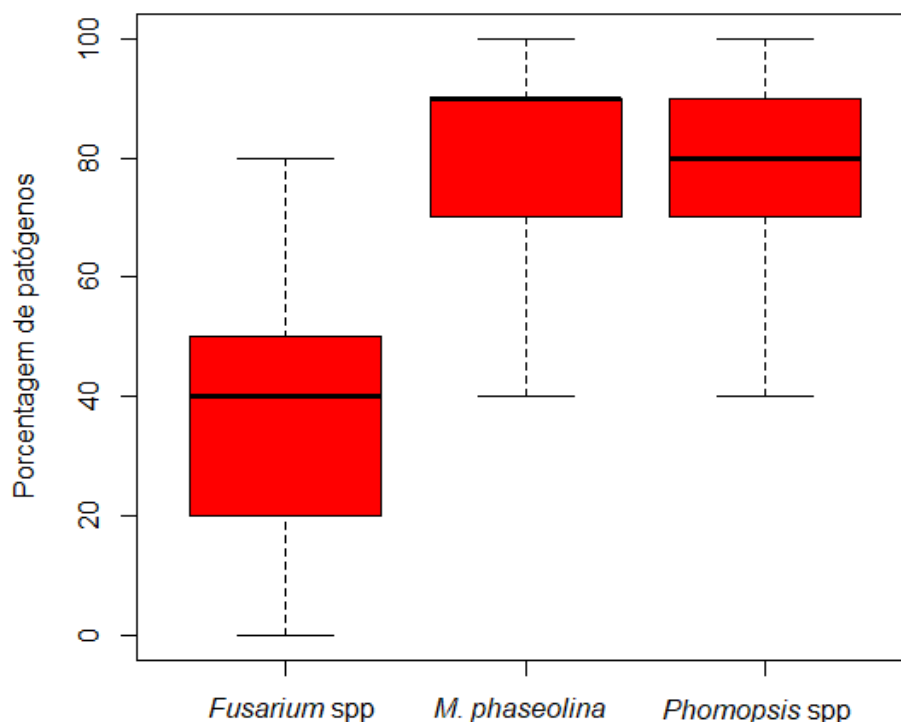
Fonte: Autor, 2022.

Gráfico 1 – Distribuição dos fungos patogênicos (%) na cultura da soja (*Glycine max*), safra 2019/2020 em Ponta Grossa, PR – 2022.



Na safra 2021/2022 os patógenos presentes na área de estudo foram os mesmos da safra anterior, mas com proporções de ocorrência diferentes. Os fungos fitopatogênicos *Fusarium spp*, *M. phaseolina* e *Phomopsis spp* apresentaram média de ocorrência de 37,1%, 81,0% e 81,8% respectivamente, com uma variabilidade de 0,0% a 80,0% para a *Fusarium spp* e de 40,0% a 100,0% para *M. phaseolina* e *Phomopsis spp* (Gráfico 2).

Gráfico 2. Distribuição dos fungos patogênicos (%) na cultura da soja (*Glycine max*), na safra 2020/2021 em Ponta Grossa, PR – 2022.



A diferença de ocorrência de uma safra a outra foi significativamente a 1,0% pelo teste Wilcoxon para os fungos *Fusarium spp* e *Phomopsis spp.*, apresentando uma diferença de 31,9% a menos na safra 2020/2021 para o *Fusarium spp.* e um acréscimo médio de 36,2% para a *Phomopsis spp.*, não havendo diferença para a *M. phaseolina* (Tabela 4).

Tabela 4 – Comparação da porcentagem de incidência das médias dos patógenos entre as safras da cultura da soja (*Glycine max*), Ponta Grossa, PR – 2022.

Patógenos	Safras		Diferença da safra 2019/2020 para 2020/2021 (%)	p-value
	2019/2020	2020/2021		
	%	%		
<i>Fusarium spp</i>	69,0	37,1	-31,9	$2,9 \cdot 10^{-10}$
<i>M. phaseolina</i>	83,0	81,0	-2,0	0,9325
<i>Phomopsis spp</i>	45,6	81,8	36,2	$2,2 \cdot 10^{-16}$

Médias com p-value acima de 0,05 são iguais na mesma linha pelo teste de Wilcoxon.

A diferença de incidência de uma safra a outra tem relação com o ambiente, afetando a presença de um patógeno ou outro na infecção das plantas de soja. Solo compactados e com livre disponibilidade de água são favoráveis ao desenvolvimento

de espécies de *Fusarium* sendo comum essa observação em campos ocorrendo essa interação (PICININI; FERNANDES, 2003; ROY et al., 1997).

Ao verificar o mesmo período entre as safras, o mês de fevereiro, observou-se que na safra de 2019/2020 houve maior precipitação pluviométrica e menor média de temperatura máxima, com 145,0 mm e 26,1°C contra 48,4 mm e 28,1°C (Anexo 1). Neste período a soja estava em fase reprodutiva, entre R.3 a R.5, com menor volume de chuva na safra 2020/2021, proporcionando ambiente menos favorável para o desenvolvimento do fungo *Fusarium* spp. Farias Neto et al. (2006) verificaram que ambientes com maior distribuição de volume de lâmina de água no solo apresentaram maior desenvolvimento dos sintomas do *Fusarium* spp. principalmente em estágios reprodutivos da soja em R.4 e R.5.

Em relação ao fungo *Phomopsis* spp., Simoni (2007) verificou que a presença de umidade pode afetar o nível de infecção do patógeno sobre a soja, constatando que em ambientes com alta umidade pode não favorecer a infecção e sintomas da doença, mas em solos com 40,0% de umidade foi onde observou melhor desenvolvimento para o patógeno.

A relação da distribuição da incidência dos patógenos observados a campo sobre o relevo da área teve uma leve correlação para o *Fusarium* spp, tanto pelo teste de Person e Spearman, mas não foi significativa, com uma correlação menor que 0,30, na safra 2019/2020 (Tabela 5). Para os demais patógenos não se observou correlação nas duas safras trabalhadas e, na safra 2020/2021 não houve correlação para o *Fusarium* spp.

Tabela 5 – Correlação da incidência dos patógenos de solo na cultura da soja (*Glycine max*) em relação ao relevo nas safras 2019/2020 e 2020/2021 em Ponta Grossa, PR – 2022.

Patógenos de solo	Correlação dos patógenos em relação ao relevo da área							
	2019/2020				2020/2021			
	Person	p-value	Spearman	p-valor	Person	p-value	Spearman	p-valor
<i>Fusarium</i> spp	0,23	0,05	0,26	0,03	-0,01	0,95	0,01	0,94
<i>M. phaseolina</i>	0,02	0,90	0,01	0,92	-0,02	0,88	-0,07	0,56
<i>Phomopsis</i> spp	0,22	0,06	0,18	0,12	0,11	0,34	0,11	0,31

Médias com p-value acima de 0,05 são iguais na mesma linha.

A análise do teste de normalidade de Shapiro – Wilk foi utilizado para verificar quais das variáveis estudadas eram paramétricas e não-paramétricas. Após os

resultados de Shapiro – Wilk as variáveis caracterizadas como paramétricas foram analisadas pelo teste T e as não-paramétricas pelo teste de Wilcoxon para verificar se houve diferença nas populações dos quadrantes com e sem patógenos de solo.

A maioria das variáveis estudadas referente a produtividade entre as populações foram significativamente diferentes, demonstrando a influência dos patógenos de solo sobre as plantas de soja, afetando o potencial produtivo da cultura. As variáveis de altura da 1ª inserção de vagem (cm), população em ha⁻¹, sementes por vagem e massa de mil grãos (MMG [g]) não apresentaram diferença, não sendo afetadas pela incidência dos patógenos de solo (Tabela 6).

Tabela 6 – Médias das variáveis estudadas nas populações de soja (*Glycine max*) com e sem patógenos de solo, em relação a altura de planta, altura da inserção da 1ª vagem (cm), população de plantas (ha), número de vagem com 1, 2 e 3 sementes, número de vagens e sementes por planta, número de sementes por vagem, massa de mil grãos (MMG[g]) e produtividade (kg. ha⁻¹) na safra 2019/2020, Ponta Grossa, PR – 2022.

Variáveis	Médias	
	Com patógenos de solo	Sem patógenos de solo
¹ Altura de planta (cm)	89,34	96,80*
¹ Altura da 1ª inserção de vagem (cm)	20,39	21,43 ^{ns}
¹ População de plantas (ha)	376.308	376.190 ^{ns}
² Nº de vagem com 1 semente	5,62	8,36*
¹ Nº vagem com 2 sementes	19,30	25,89*
² Nº vagem com 3 sementes	22,34	31,11*
¹ Nº vagem por planta	47,36	65,53*
² Nº sementes por planta	111,63	154,16*
¹ Nº sementes por vagem	2,35	2,35 ^{ns}
¹ MMG (g)	125,63	125,70 ^{ns}
¹ Produtividade (kg. ha ⁻¹)	3572,40	3759,73**

¹Variável analisada pelo teste T; ²Variável analisada pelo teste de Wilcoxon; * Médias significativamente diferentes a 5% de significância; ** Médias significativamente diferentes a 10% de significância.

Os patógenos de solo influenciaram na produtividade da cultura da soja, produzindo uma média 187 kg. ha⁻¹ a menos, devido a redução dos números de vagens com 1, 2 e 3 sementes, consequentemente menor número médio de vagens e sementes por planta. O potencial produtivo das plantas foi afetado por fungos patogênicos do solo devido a colonização dos vasos do xilema por micélios ou esporos, promovendo entupimento dos vasos, afetando assim a translocação de solutos na rota de transpiração, prejudicando a formação dos foto assimilados,

diminuindo o porte das plantas, levando a morte prematura das mesmas (AGRIOS, 2005; MCGOVERN, 2015).

Além da diferença na produtividade ocorrida entre as poluções de plantas com e sem patógenos, foi verificado que os patógenos nas plantas mostraram influência na altura de planta, com 89,34 cm de média de altura as plantas infectadas contra 96,80 cm para as não infectadas.

Na safra 2020/2021 todos os quadrantes apresentaram reboleiras com plantas infectadas por patógenos de solo, não havendo um comparativo com plantas não infectadas por esses patógenos, utilizando-se apenas os dados para a identificação dos patógenos por sistema remoto (RPA) na classificação de *machine learning*.

5.1.2 *Machine learning* – identificação dos patógenos.

O desempenho do uso da *machine learning* para identificação de plantas infectadas por patógenos de solo apresentou grande capacidade em classificar e diferenciar as plantas sadias de plantas infectadas, de acordo com as informações coletadas nos quadrantes.

Foram identificados os principais atributos (variáveis) de maior expressão na classificação de plantas com incidência de patógenos de solo em relação a todos os voos realizados na safra 2019/2020 (Tabela 7). Os dados coletados na safra 2020/2021 não foram possíveis de serem utilizados para a análise das plantas infectadas pelos patógenos devido à alta disseminação de patógenos em todos os quadrantes dentro da área de estudo. A alta incidência de *M. phaseolina* na primeira safra, proporcionou a disseminação no campo das estruturas de resistência (microescleródios) do fungo, possibilitando a disseminação do inóculo de um local contaminado para outro onde não havia a incidência deste patógeno (JACCOUD-FILHO; LES; NADAL, 2020). Além da ocorrência elevada de *M. phaseolina* na última safra, observou-se a incidência de *Phomopsis* spp. no local aumento de sua disseminação influenciado pelas condições climáticas no período reprodutivo da soja (Anexo 2), favorecendo o desenvolvimento deste fungo, que apresenta estruturas que permanecem em restos culturais, tornando-se fonte de inóculo para novas áreas sem inóculo (JACCOUD-FILHO, 1996; SIMONI, 2007; YORINORI *et al*, 2018).

Tabela 7 – Ranking das variáveis utilizadas para classificar populações de plantas de soja (*Glycine max*) com e sem patógenos pelo algoritmo *CFS Subset Evaluator* na safra 19/2020, Ponta Grossa, PR – 2022.

Variáveis	Ranking
Red Edge 1º Voo	1º
NDVI 2º Voo	2º
NDRE 4º Voo	3º
NDVI 4º Voo	4º
Altura Planta	5º
Vagem com 1 semente	6º
Vagem com 2 semente	7º
Vagem com 4 semente	8º
Média de vagem por planta	9º

Modo do teste: split 66% train.

Os cinco principais atributos ou variáveis para a classificação das plantas (com ou sem patógenos) foram dados referentes a refletância do dossel da soja, sendo NDVI dos voos 2 e 4, NDRE 4º voo e a banda isolada Red Edge do 1º voo, apresentando composições do comprimento de onda do vermelho (650 nm) e das ondas não visíveis a olho nu, como borda vermelha – Red Edge (720 nm) e infravermelho próximo - NIR (850 nm), devido o reflexo da infecção causado pelos fungos presentes no sistema radicular da soja.

Plantas com sintomas de clorose nas folhas causadas por fungos patogênicos (*Fusarium* spp) podem ser identificadas com índices de refletância das bandas do vermelho e verde (BAJWA; RUPE; MASON, 2017).

O algoritmo que apresentou o melhor desempenho para os dados obtidos na primeira safra foi o classificador Lazy IBk, de modo que a melhor variável para a classificação das plantas saudáveis e infectadas com os patógenos foi o NDVI do 4º voo com um coeficiente de correlação de 0,85 e r^2 igual 0,72.

Dados semelhantes obtidos por Raza *et al.* (2020) localizado nos Estados Unidos, no estado de Iowa, na Fazenda Marsden da Universidade em Boone County, por imagens de satélites sobre campos de soja em relação a rotação de cultura, classificando plantas saudáveis e infectadas por *Fusarium* spp acima de 75% com o algoritmo *Random forest*.

Ao analisar a capacidade de classificar as plantas na identificação por cada patógeno observado, *M. phaseolina* foi que apresentou maior coeficiente de correlação (0,84), similar quando verificado com plantas infectadas por um dos três

patógenos, possivelmente devido a apresentar maior incidência na área, contrapartida a *Phomopsis* spp. que não obteve sucesso na classificação (Tabela 8).

Tabela 8 – Coeficientes de correlação na classificação de plantas de soja (*Glycine max*) infectadas pelos patógenos de solo *Fusarium* spp., *M. phaseolina* e *Phomopsis* spp. pelo algoritmo Lazy IBk sobre o atributo do NDVI do 4º voo da safra 2019/2020, Ponta Grossa, PR – 2022.

Patógenos	Coeficiente de correlação	Incidência (%)
<i>Fusarium</i> spp	0,47	69,0
<i>M. phaseolina</i>	0,84	83,0
<i>Phomopsis</i> spp	0,11	45,6

Modo do teste: split 66% train.

Outro aspecto evidenciado foi que o algoritmo teve o melhor atributo na última época ou voo, NDVI 4º voo, onde a cultura da soja estava entrando em maturação fisiológica (R.6), tendo uma percepção das reboleiras mais nítidas devido a desfolha precoce da cultura (AGRIOS, 2005). Ao realizar a mineralização dos dados as plantas com a desfolha precoce tiveram o seu reflexo misturado com o chão exposto, facilitando a diferença de uma população infectadas contra plantas saudas. Dados semelhantes a esse foram observados pela pesquisadora Nogueira (2020), trabalhando em sua dissertação com detecção de nematoides *Pratylenchus brachyurus*.

Apesar de apresentar um alto nível de correlação dos dados sobre a identificação de plantas com incidência dos patógenos de solo, ainda faltam mais informações para validar e utilizar em outras safras futuras, sendo eficaz apenas para os dados obtidos nesta área com tais condições climáticas e cultura.

5.2 WENCESLAU BRAZ -PR

5.2.1 Identificação, incidência e influência na soja dos patógenos de solo

A identificação dos quadrantes a campo foi realizada no início da maturação fisiológica da soja, devido a maior facilidade para identificar as reboleiras, evitando erros na interpretação dos dados para a classificação das plantas infectadas pelos patógenos de solo (Figura 8). Em Wenceslau Braz a dinâmica dos quadrantes com os patógenos de solo foram diferentes em relação a área de Ponta Grossa, apresentando 13 quadrantes (16,25%) com reboleiras ou plantas com sintomas com infecção desses patógenos e 67 quadrantes (83,75) sem essas características (plantas sem sintomas).

Figura 11 – Reboleiras em lavoura de soja (*Glycine max*) dentro da área de estudo ocasionado por patógenos de solo, Ponta Grossa, PR, 2022.

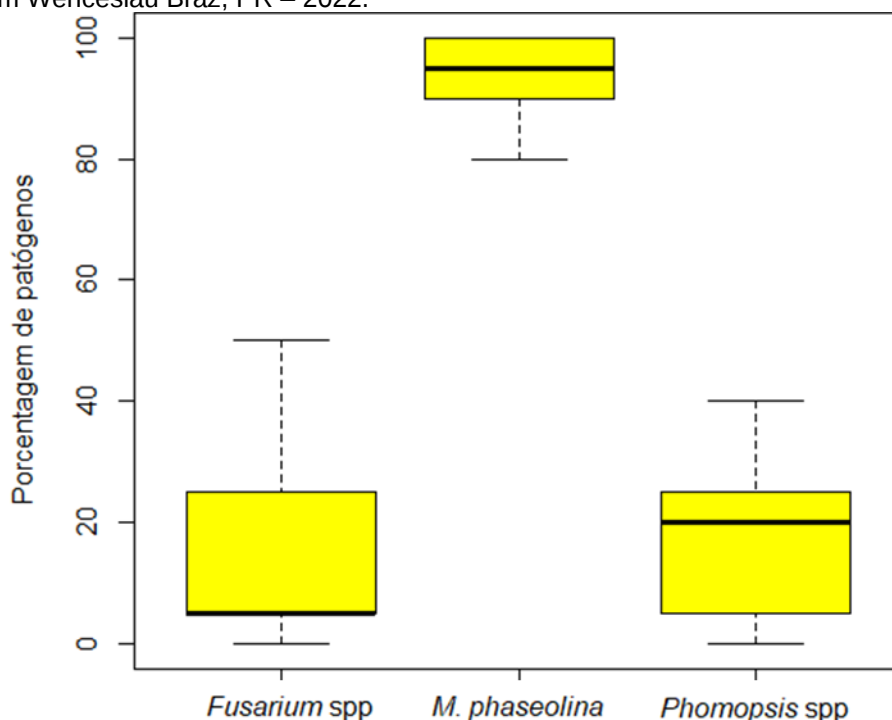


Fonte: Autor, 2022.

Os patógenos de solo encontrados foram os mesmos do campo de Ponta Grossa, *Fusarium* spp., *M. phaseolina* e *Phomopsis* spp. tendo maior média de incidência o fungo *M. phaseolina*, com 94,5%, contra 16,5% e 18,1% de *Fusarium* spp. e *Phomopsis* spp. respectivamente. Outro ponto analisado foi a variabilidade desses indivíduos no campo, de 80,0% a 100% das plantas infectadas nos quadrantes, 0% a

55,0% estavam infectadas por *Fusarium* spp. e 0% a 40% infectadas por *Phomopsis* spp. (Gráfico 3).

Gráfico 3 – Distribuição dos fungos patogênicos (%) na cultura da soja (*Glycine max*), safra 2019/2020 em Wenceslau Braz, PR – 2022.



A variabilidade de cada fungo está relacionada a quantidade de inóculo na área, que juntamente com as condições ambientais, possibilitam condições adequadas ou não para o desenvolvimento do patógeno em seu hospedeiro (AGRIOS, 2005).

Foi expressivo a incidência de *M. phaseolina* em relação aos demais fungos, de modo que todos os quadrantes apresentaram incidência na população de soja, evidenciando grande quantidade de inóculo desse patógeno, em que as condições do ambiente favoreceram o desenvolvimento desse fungo, principalmente em relação as altas temperaturas que ocorreram na região durante o ciclo da cultura (Anexo 3).

Outro aspecto verificado foi a relação patógeno com o relevo do ambiente estudado, observou-se que não houve correlação dos patógenos estudados sobre o declive da área. Os dados obtidos pelos testes Person e Spearman, para ambos demonstraram que não houve correlação, sendo independentes entre si (Tabela 9).

Tabela 9 – Correlação da incidência dos patógenos de solo em relação ao relevo na safra 2019/2020 em Wenceslau Braz, PR – 2022.

Patógenos	Correlação dos patógenos em relação ao relevo da área			
	Person	p-value	Spearman	p-valor
<i>Fusarium spp</i>	0,04	0,89	-0,15	0,63
<i>M. phaseolina</i>	-0,18	0,55	-0,23	0,44
<i>Phomopsis spp</i>	-0,31	0,30	-0,17	0,59

A infecção ocasionada nas plantas pelos patógenos de solo influenciaram no rendimento da cultura da soja (Tabela 10), como diminuição do porte da planta (altura em cm), MMG (g) e consequentemente na produtividade. Plantas com infecções por esses fungos apresentaram maior número de vagens com uma semente, vagens com menor potencial produtivo na planta. A produtividade demonstrou uma grande diferença, com 673,00 kg. ha⁻¹ produzidos a menos, uma relação 15% menor.

Almeida *et al.* (2014) relataram redução de produção causada por *M. phaseolina* em lavouras brasileiras, que em anos secos e quentes, na região Norte do Estado do Paraná, os danos chegaram a atingir 50%. Patógenos de solo relacionados a infecção radicular ou da haste tem grande interferência na produtividade da soja, levando o potencial de dano por esses patógenos não apenas numa única safra, mas para os demais plantios futuros, tendo em vista ao aumento do inóculo deixado no solo e o tempo de exposição das plantas, pois são fungos que apresentam estruturas de resistência (AGRIOS, 2005; JACCOUD-FILHO; LES; NADAL, 2020; YORINORI, 1996; YORINORI *et al.*, 2018)

Tabela 10 – Médias das variáveis estudadas nas populações de soja com e sem patógenos de solo, em relação a altura de planta, altura da inserção da 1ª vagem (cm), população de plantas (ha), número de vagem com 1, 2, 3 e 4 sementes, número de vagens e sementes por planta, número de sementes por vagem, massa de mil grãos (MMG[g]) e produtividade (kg. ha⁻¹) na safra 2019/2020, Wenceslau Braz, PR – 2022.

Variáveis	Médias	
	Com patógeno de solo	Sem patógeno de solo
¹ Altura de planta (cm)	72,66	78,61*
¹ Altura da 1ª inserção de vagem (cm)	17,18	16,98 ^{ns}
² População de plantas (ha)	400.513	413.930 ^{ns}
¹ Nº de vagem com 1 semente	8,08	6,79*
¹ Nº vagem com 2 sementes	30,48	27,05 ^{ns}
² Nº vagem com 3 sementes	27,83	27,09 ^{ns}
² Nº vagem com 4 sementes	0,86	0,75 ^{ns}
¹ Nº vagem por planta	67,24	61,69 ^{ns}
¹ Nº sementes por planta	155,96	145,19 ^{ns}
¹ Nº sementes por vagem	2,31	2,35 ^{ns}
¹ MMG (g)	135,03	139,52**
² Produtividade kg. ha ⁻¹	3694,67	4367,67*

¹Variáveis analisadas pelo teste T; ²Variáveis analisadas pelo teste de Wilcoxon; * Médias significativamente diferentes a 5% de significância; ** Médias significativamente diferentes a 10% de significância.

5.2.2 Machine learning – identificação dos patógenos.

As variáveis (atributos) trabalhadas na área de estudo de Wenceslau Braz apresentaram diversos níveis para a classificação com os dados extraídos remotamente na RPA e com os demais dados obtidos no campo. De acordo com cada época de voo realizada no estudo, foram observados diferentes classificações dos atributos das imagens com os atributos de campo (Tabela 11). Esses dados foram resultados do uso do SynthesisFS que apresentou quais algoritmos apresentaram com maior frequência na síntese dos algoritmos rodados, em relação ao ranqueamento dos atributos.

Os dados obtidos pela seleção dos atributos em relação a cada época de voo realizada mostram que, para todas as predicações os dados de produtividade (kg. ha⁻¹) e altura de plantas (cm) foram essenciais na diferenciação das populações com e sem infecção por patógenos de solo. Como observado anteriormente, são esses fatores que os patógenos de solo mais afetam na cultura da soja. Essa interação, na qual os patógenos de solo afetam o sistema vascular das plantas, acionam uma cascata de sinalizações, expressando sintomas de estresse como diminuição de porte

de planta e mudança dos padrões da reflectância espectral, como o comprimento de onda azul que está interligada a fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Tabela 11 – Ranking das variáveis utilizadas para classificar populações de plantas de soja com e sem patógenos pelo SynthesisFS na safra 2019/2020 em diferentes épocas de voos, Wenceslau Braz, PR – 2022.

	Ranking	Épocas dos voos			
		1º Voo	2º Voo	3º Voo	4º Voo
Atributos em relação a sua importância	1º	Produt. kg. ha ⁻¹	Produt. kg. ha ⁻¹	Produt. kg. ha ⁻¹	Produt. kg. ha ⁻¹
	2º	Altura planta	NDVI	Altura planta	Altura planta
	3º	MMG (g)	NDRE	MMG (g)	Banda Azul
	4º	NDRE	Altura planta (cm)	Sementes por vagem	Banda NIR
	5º	NDVI	Banda Azul	População de Plantas	Banda Verde

Outra composição dos atributos que mais tiveram importância nas diferentes épocas dos voos foram os índices NDVI e NDRE, nas quais ambas são compostas pelo Infravermelho próximo (NIR) com a banda do vermelho ou da borda vermelha – Red Edge. Essa relação acontece devido ao reflexo das partes mortas ou devido a menor taxa fotossintética da planta, que refletem mais as bandas do nível do vermelho, sendo assim, diferentes de plantas saudáveis ou sem estresse por fatores bióticos ou abióticos (SAHOO *et al.*, 2015).

A 3ª época de voo houve um defeito com as informações da câmera multiespectral, utilizando-se apenas os dados das bandas do visível, verde, azul e vermelho, consolidando que não apresentaram grande importância na classificação entre plantas saudáveis e infectadas, demonstrando a importância do uso de comprimento de onda como o infravermelho próximo e borda do vermelho. No 4º voo os índices não expressaram a mesma importância que nos dois primeiros voos realizados, isso se deve pela interferência do reflexo do solo e as plantas devido ao estágio fenológico R5.5 da cultura no momento do voo. Entretanto, apresentou a camada da banda NIR com alta importância para classificação, devido um maior reflexo nas plantas infectadas dessa camada, e menor reflexo nas bandas do verde e azul, tendo em vista a diferença na taxa fotossintéticas das plantas infectadas pelos patógenos de solo.

Após realização da classificação dos melhores atributos coletados a campo, tanto pela RPA, por medidas de altura de plantas e componentes de produção, foi

possível verificar alguns algoritmos com correlação na classificação das populações de plantas saudáveis e infectadas pelos patógenos (Tabela 12).

Tabela 12 – Algoritmos que apresentaram maior coeficiente de correlação na classificação das populações com e sem patógenos em relação às épocas de voo realizadas na safra 2019/2020, Wenceslau Braz, PR – 2022.

	Épocas dos voos		
	1º Voo	2º Voo	4º Voo
Atributos utilizados pelo algoritmo	Produtividade kg. ha ⁻¹	Produtividade kg. ha ⁻¹	Produtividade kg. ha ⁻¹
	Altura planta (cm)	NDVI	Altura planta (cm)
	NDRE	NDRE	Banda Azul
	NDVI	Altura planta (cm)	Banda Nir
		Banda Azul	Banda Verde
Algoritmo	REPTree	SMOreg	M5Rules
Coeficiente de correlação	0,65	0,73	0,65

A época de voo que apresentou melhor coeficiente de correlação na classificação das populações com e sem patógenos foi o 2º voo com um coeficiente de correlação de 0,73, com ótimo índice para estimar a identificação de manchas de solo ocasionados por esses fungos fitopatogênicos estudados.

Esse resultado demonstrou a capacidade da identificação desses patógenos em épocas mais precoces que o normal, realizado no estágio vegetativo V.6 da cultura. Normalmente é difícil a observação dessas doenças na cultura a olho nu nesse estágio (ALMEIDA; SEIXAS, 2010; BAJWA; RUPE; MASON, 2017; JACCOUD-FILHO; LES; NADAL, 2020; YORINORI *et al.*, 2018).

A partir da seleção dos resultados das épocas dos voos foi selecionado o voo que obteve o maior coeficiente de correlação (2º voo) para realizar a criação de modelo de classificação.

O modelo de predição criado utilizou os mesmos atributos (variáveis) obtidos pelo primeiro algoritmo (*SMOreg*) que apresentaram resposta sobre a relação das plantas com infecção com os patógenos, de forma que o atributo meta sendo discreto (com patógenos e sem patógenos). O algoritmo que apresentou o melhor resultado de classificação para criação desse modelo foi J48, baseado em árvore, com validação cruzada de 5 folds. A taxa de acerto do modelo criado apresentou um alto índice de acerto, 83,7% e um erro quadrático médio de 0,39.

Dados semelhantes a esse foram observados por Nogueira (2020), que elaborou modelo de classificação a partir do algoritmo classificador *Random forest*, com validação cruzada de 10 folds, obteve índices de acertos entre 78% a 89%, na classificação de plantas infectadas por *P. brachyurus* em relação as épocas de voo realizadas em Rio Verde, Goiás. Devido os fitonematoides colonizarem o sistema radicular das plantas, obstruindo os vasos condutores de água e nutrientes extraídos do solo, as plantas expressam sintomas na parte superior, ocasionando danos no desenvolvimento das plantas, apresentando plantas menores portes, clorose e maturação precoce (AGRIOS, 2005).

O modelo criado de classificação de 5 níveis com tamanho de árvore de 9:

Produtividade $\text{kg. ha}^{-1} \leq 3652$: S (6.0)

Produtividade $\text{kg. ha}^{-1} > 3652$

| Banda Azul ≤ 840

| | Altura planta ≤ 83

| | | Altura planta ≤ 73 : S (3.0/1.0)

| | | Altura planta > 73 : N (4.0)

| | Altura planta > 83 : S (2.0)

| Banda Azul > 840 : N (65.0/3.0)

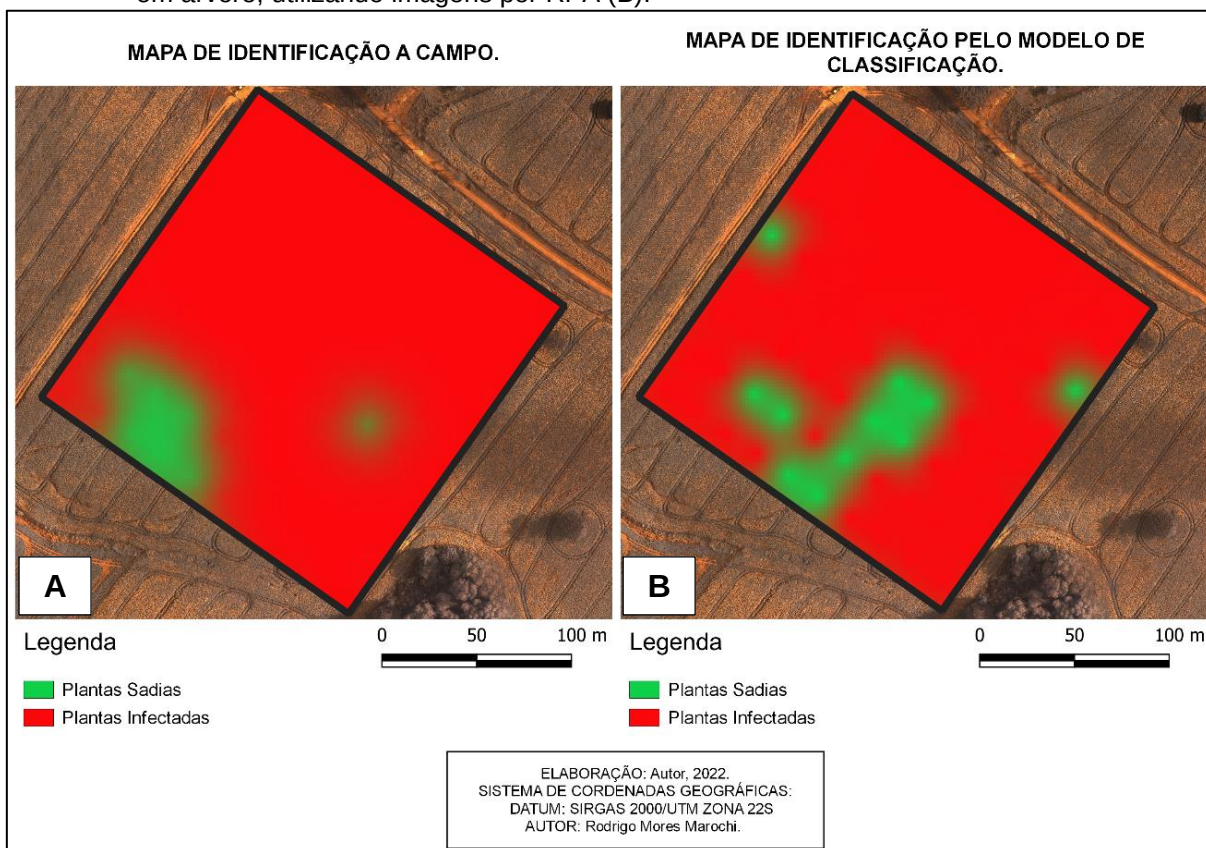
5.3 VALIDAÇÃO DO MODELO DE IDENTIFICAÇÃO DE PLANTAS COM PATÓGENOS DE SOLO.

A validação do modelo obtido pelos dados do 2º voo realizado na área de estudo em Wenceslau Braz foi testada sobre os dados da área de Ponta Grossa. Com o modelo de classificação obtido pelo algoritmo J48 apresentou um alto índice de acerto sobre plantas com patógenos e sem patógenos, com 85% de acerto e 0,38 de erro quadrático, apresentando valores próximos com os dados gerados em Wenceslau Braz quando foi gerado o modelo de classificação.

O modelo de classificação apresentou pequenas diferenças quando comparado os dados de identificação a campo dos quadrantes com patógenos ou não (Figura 9). Dessa forma, o uso de modelos de classificação de plantas doentes como esse, apresenta grandes vantagens ao utilizá-lo, pois apresentou um grande potencial de uso no manejo de áreas com incidência desses fungos, com assertividade,

eficiência e qualidade para identificação das populações das plantas infectadas com esses patógenos.

Figura 12 – Comparação das classificações da área de estudo de Ponta Grossa para identificação de áreas com plantas de soja (*Glycine max*) infectadas com patógenos de solo, 2022. Mapa demonstrativo apresentando a classificação pela identificação a campo (A); Mapa demonstrativo apresentando a classificação pelo modelo criado a partir do classificador J48, em árvore, utilizando imagens por RPA (B).



Fonte: Autor (2022).

Os dados coletados nas duas áreas foram cruciais para o desenvolvimento do modelo alcançado, viabilizando uma nova ferramenta para identificação dos patógenos de solo com uso da RPA, que juntamente com dados de altura de planta e produtividade da cultura, faz com que este trabalho seja pioneiro para a identificação desses patógenos em território brasileiro.

6 CONCLUSÃO

O uso do sensoriamento remoto teve ótimo desempenho para identificação de manchas em lavouras de soja ocasionados por *Fusarium* spp. *Macrophomina phaseolina* e *Phomopsis* spp. de solo estudados em Ponta Grossa e Wenceslau Braz no Estado do Paraná.

O *machine learning* demonstrou ser uma ótima ferramenta para identificação das plantas infectadas pelos patógenos estudados, com uma alta correlação na classificação nas populações de planta de soja com e sem os patógenos de solo, nos dois locais de estudo.

Foi possível a realização de um modelo de classificação das plantas infectadas com patógenos de solo e plantas saudáveis acima de 85% de acerto.

REFERÊNCIAS

- AGRIOS, G. N. **Plant Pathology**. Amsterdam: Elsevier Academic Press. ed. 5, p. 948, 2005.
- ALBETIS, J.; DUTHOIT, S.; GUTTLER, F.; JACQUIN, A.; GOULARD, M.; POILVÉ, H.; FÉRET, J.B.; DEDIEU, G. Detection of *Flavescence dorée* Grapevine Disease Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Multispectral Imagery. **Remote Sens**. v. 9, p. 308-328, 2017.
- ALBETIS, J.; JACQUIN, A.; GOULARD, M.; POILVÉ, H.; ROUSSEAU, J.; CLENET, H.; DEDIEU, G.; DUTHOIT, S. On The Potentiality of UAV Multispectral Imagery to Detect Flavescence Dorée and Grapevine Trunk Diseases. **Remote Sensing**, v. 11, p. 23-49, 2018.
- ALEXOPOULOS, C.J., MIMS, C.W. & BLACKWELL, M. **Introductory Mycology**. 4th ed. John Wiley, New York. p. 870, 1996.
- ALMEIDA, A. M. R.; SEIXAS, C. D. S. **Soja: doenças radiculares e de hastes e inter-relações com o manejo de solo e da cultura**. Londrina: Embrapa Soja, p. 399, 2010.
- 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. **Macrophomina phaseolina em soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2014
- AMORIN, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIM FILHO, A. **Manual de fitopatologia**. 4.ed. Piracicaba: Agronômica Ceres, p. 704, 2011.
- AOKI, T.; O'DONNELL, K.; SCANDIANI, M. M. Sudden death syndrome of soybean in South America is caused by four species of *Fusarium*: *Fusarium brasiliense* sp. nov., *F. cuneirostrum* sp. nov., *F. tucumaniae*, and *F. virguliforme*. **Mycoscience**, v. 46, p. 162-183, 2005.
- ARANTES, B. H. T. **Detecção de nematoides na fase reprodutiva da soja por meio de veículos aéreos não tripulados**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, 2019.
- ARANTES, B. H. T.; MARTINS, G. D.; CARVALHO, E. R.; NOGUEIRA, L. C. A. Identificação de Ferrugem na Soja por Meio de Imagens de Alta Resolução espacial. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 3, p. 1003-1016, 2019.
- ARRUDA, G. M. T.; MILLER, R. N. G.; FERREIRA, M. A. S. V.; CAFÉ-FILHO, A. C. Morphological and molecular characterization of the sudden death syndrome pathogen of soybean in Brazil. **Plant Pathology**, v. 54, p. 53-65, 2005.

BALLANTI, L.; BLESIOUS, L.; HINES, E.; KRUSE, B. Tree Species Classification Using Hyperspectral Imagery: A Comparison of Two Classifiers. **Remote Sensing**, v. 8, p. 1-18, 2016.

BASSETO, M. A.; BUENO, C. J.; CHAGAS, H. A.; ROSA, D. D.; PADOVANI, C. R.; FURTADO, E. L. Efeitos da simulação da solarização do solo com materiais vegetais sobre o crescimento micelial de fungos fitopatogênicos habitantes do solo. **Summa Phytopathologica**. v. 37, n. 3, p. 116-120, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-54052011000300006>>. Acesso em: 20 set. 2021.

BAJWA, S. G.; RUPE, J. C.; MASON, J. Soybean Disease Monitoring with Leaf Reflectance. **Remote Sensing**, v. 9, p. 127, 2017.

BALARDIN, C. R.; CELMER, A. F.; COSTA, E. C.; BALARDIN, R. S. Possibilidade de transmissão de *Fusarium solani* f. sp. *glycines*, agente causal da podridão vermelha da raiz da soja, através da semente. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, p. 574- 581. 2005.

BARNES, E. M.; CLARKE, T. R.; RICHARDS, S. E.; COLAIZZI, P. D.; HABERLAND, J.; KOSTRZEWSKI, M.; WALLER, P.; CHOI, C.; RILEY, E.; THOMPSON, T.; LASCANO, R. J.; LI, H.; MORAN, M. S. Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground-based multispectral data. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE. 2000, Madison. **Proceedings of the Fifth International Conference on Precision Agriculture [...]** Madison: Bloomington, 2000.

BITANCOURT, A. A. Uma nova doença do feijão. **O Biológico**, v. 1, n. 2, p. 41, fev, 1935.

BOARETTO, C; DANELLI, A.L.D. Podridão cinzenta da raiz. In: Reis, E. M.; Casa, R. T. **Doenças da soja: etiologia, sintomatologia, diagnose e manejo integrado**. Passo Fundo: Berthier, p. 281-296, 2012.

BONATO, E., R.; BONATO, A., L., V. **A soja no Brasil: história e estatística**. EMBRAPA-CNPSo, Londrina, p. 61, 1987.

BRADLEY, C. A.; MUELLER, D. S. Sclerotinia Stem Rot (White Mold) of Soybean in USA. In: JACCOUD-FILHO, D. de S.; HENNEBERG, L.; GRABICOSKI, E. M. G. **Mofo Branco Sclerotinia sclerotiorum**. Ponta Grossa: Toda palavra, p. 131-139, 2017.

CALDERÓN, R.; NAVAS-CORTÉS, J.; LUCENA, C.; ZARCO-TEJADA, P. High-resolution Airborne Hyperspectral and Thermal Imagery for Early Detection of *Verticillium* Wilt of Olive Using Fluorescence, Temperature and Narrow-band Spectral Indices. **Remote Sensing**, v. 139, p. 231–245, 2013.

CÂMARA, G., D., S. Introdução ao agronegócio soja. **Departamento de Produção Vegetal**. USP/ESALQ. 2015.

CNA, Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. **Panorama Agro**. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/cna/panorama-do->

agro#:~:text=Como%20revela%20a%20figura%201,%2C6%20bilh%C3%B5es%2C%20em%202020.> Acesso em: 3 mar. 2022.

CAROLLO, E. M.; SANTOS-FILHO, H. P. **Manual básico de técnicas fitopatológicas**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, p. 109, 2016.

CHOI, S. Y.; CHA, D. Unmanned aerial vehicles using machine learning for autonomous flight; state-of-the-art. **Advanced Robotics**, v. 33, n. 6, p. 265-277, 2019.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília: Conab, v. 8, n. 11, agosto 2021a.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Análise mensal: soja**. Junho 2021b.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Produção nacional de grãos é estimada em 269,3 milhões de toneladas na safra 2021/22**. 2022. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4579-producao-nacional-de-graos-e-estimada-em-269-3-milhoes-de-toneladas-na-safra-2021-22>> Acesso em: 10 abr. 2022.

COSTA, R. V. da; SILVA, D. D.; COTA, L. V.; CAMPOS, L. J. M.; ALMEIDA, R. E. M.; TUBIANA, D.; EVANGELISTA, B. A.; RIBEIRO, I. L. **Macrophomina phaseolina em milho safrinha: levantamento da incidência e perdas na produtividade no Estado do Tocantins**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2019. 19 p.

COSTA, R. V. da; COTA, L. V.; SILVA, D. D. da; ALMEIDA, R. E. M. de; CAMPOS, L. J. M.; CUSTODIO, D. P.; BERNARDES, F. P.; TUBIANA, D.; SILVA, A. F. da; LIMA, L. S. **Reação de híbridos de milho à podridão-de-colmo causada por Macrophomina phaseolina**. Circula técnico 270, Sete Lagoas, novembro 2020.

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, p 51-60, 2016.

COSTAMILAN, L. M.; BERTAGNOLLI, P. F.; CLEBSCH, C. C.; SOARES, R. M.; SEIXAS, C. D. S.; GODOY, C.V. Tipos de Resistência a *Phytophthora sojae* em Linhagens de Soja da Embrapa Trigo. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA. 7., 2015, Florianópolis. **Anais** [...] Londrina: Embrapa Soja, 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/126009/1/2015-Congresso-Brasileiro-Soja-p173.pdf> Acesso em: 17 fev. 2020.

COSTAMILAN, L. M.; BERTAGNOLLI, P. F.; MORAES, R. M. A. de. **Podridão radicular de fitóftora em soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, p. 23, 2007. html. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 79). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do79.htm> Acesso em: 17 fev. 2020.

DALL'AGNOL, A. **A Embrapa Soja no contexto do desenvolvimento da soja no Brasil: história e contribuições**. Brasília: Embrapa, p. 72, 2016.

DECEA – Departamento de controle do espaço aéreo. **Sistemas de aeronaves remotamente pilotadas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro**. p. 76, 2015.

DIAS, L. A. F.; ALMEIDA, A. M. R.; LOPES, I. de O. N.; DEBIASI, H.; SEIXAS, C. D. S.; SILBALDELLI, R. N. R.; FARIAS, J. R. B. **Sistema de plantio de soja e efeito sobre a concentração de microesclerócios de *Macrophomina phaseolina***. Londrina: Embrapa Soja, p. 22, 2018.

EMBRAPA. Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil 2000/01. **Embrapa Soja**. - Londrina: Embrapa Soja/Fundação MT, p. 245, 2000. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/449645/1/doc146.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2021.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. **Diagnóstico e planejamento de sistemas agroflorestais na microbacia Ribeirão Novo, município de Wenceslau Braz, Estado do Paraná**. Colombo, 54p. 1998.

EMBRAPA. **Artigo - Horizonte de 2050**. 2018a. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/37534993/artigo---horizonte-de-2050>>. Acesso em: 05 dez. 2020.

EMBRAPA. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília: Embrapa, p. 212, 2018b.

FARIAS, H. P. S de. **Diversidade, meio ambiente e o processo interdisciplinar na contemporaneidade**. Rio de Janeiro: Epitaya, 2021.

FARIAS NETO, A. L. de; HARTMAN, G. L.; PEDERSEN, W. L.; LI, S.; BOLLERO, G. A.; DIERS, B. W. Irrigation and inoculation treatments that increase the severity of soybean sudden death syndrome in the field. **Crop Science**, v.46, p. 2547-2554, 2006.

FERREIRA, E.G.C.; JANUARIO, N. C. G.; BOWSER, N. D.; GUERRA, W. D.; CAMPOS, H. D.; UTIAMADA, C. M.; SEIXAS, C. D. S.; SOARES, R. M.; MARCELINO-GUIMARÃES, F.C. Caracterização de isolados do complexo *Diaporthe/Phomopsis* obtidos de locais com suspeita de cancro-da-haste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 8., 2018. Goiania. **Anais [...]** Brasília: Embrapa, p. 584-586, jun. 2018.

GARCIA-RUIZ, F.; SANKARAN, S.; MARI MAJA, J.; LEE, W.S.; RASMUSSEN, J.; EHSANI, R. Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing-infected citrus trees. **Computers and Electronics in Agriculture**, v 91, p. 106–115, 2013.

GAZZONI, D. L. A soja no Brasil é movida por inovações tecnológicas. **Cienc. Cult.**, São Paulo, v. 70, n. 3, p. 16-18, julho de 2018. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252018000300005&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 25 ago. 2021.

GIBSON-POOLE, S.; HUMPHRIS, S.; TOTH, I.; HAMILTON, A. Identification of the onset of Disease within a Potato Crop Using a UAV Equipped with Un-modified and

Modified Commercial off-the-shelf Digital Cameras. **Adv. Anim. Biosci.**, v. 8, p. 812–816, 2017.

GODOI, N. K.; DEKA, B.; BORA, L. C. Remote sensing and its in detection and monitoring plant diseases: a review. **Agricultural Reviews**. v. 39, p. 307-313, 2018.

GRIFFIN, T. W.; LOWENBERG-DEBOER, J. Worldwide adoption and profitability of precision agriculture Implications for Brazil. **Revista de Política Agrícola**. v. 14, n. 4, 2005.

IAPAR, **Instituto Agrônomo do Paraná**. 2020. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>> Acesso em: 18 fev. 2020.

INDEX FUNGORUM. Disponível em: <<http://www.indexfungorum.org/names/NamesRecord.asp?RecordID=164797>>. Acesso em: 15 dez. 2021.

IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Relação dos municípios do estado ordenados segundo as mesorregiões e as microrregiões geográficas do IBGE**. Paraná, 2012. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/pdf/mapas/base_fisica/relacao_mun_micros_mesos_parana.pdf> Acesso em: 18 fev. 2020.

ISHIKAWA, M. S.; RIBEIRO, N. R.; OLIVEIRA, E. C.; ALMEIDA, A. A.; BALBIPEÑA, M. I. Seleção de cultivares de soja para resistência à podridão negra da raiz (*Macrophomina phaseolina*). **Summa Phytopathologica**, v. 44, n. 1, p. 38-44, 2018.

ISLAM, S.; HAQUE, S.; ISLAM, M. M.; EMDAD, E. M.; HALIM, A.; HOSSEN, Q. M.; HOSSAIN, Z.; AHMED, B.; RAHIM, S.; RAHMAN. S.; ALAM, 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, p.493-509, 2012.

ITCG - Instituto de Terras, Cartografia e Geologia. **SOLO – Estado do Paraná**. Paraná, 2008. Disponível em: http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_Solos.pdf> Acesso em: 18 fev. 2020.

ITO, M. F. Principais Doenças da Cultura da Soja e Manejo integrado. **Nucleus**., Ituverava, v. 10, n. 3, jun. 2013. Disponível em: <<http://nucleus.feituverava.com.br/index.php/nucleus/article/view/908>>. Acesso em: 18 fev. 2020.

JACCOUD-FILHO, D. S. **Identification, differentiation and detection of *Phomopsis phaseoli* f. sp. *meridionalis* in soybean seed**. 1996. 181f. Tese (Ph.D. in Phytopathology) – Cambridge. Nation Institute of Agricultural Botany – University of Cambridge, 1996.

JACCOUD-FILHO, D. S.; LEE, D.; REEVES, J. C.; YORINORI, J. T. The use of RAPD – PCR in *Phomopsis phaseoli* f.sp *meridionalis* detection and identification. **Fitopatologia Brasileira**, v. 22, p. 271, 1997.

JACCOUD-FILHO, D. S.; HENNEBERG, L.; GRABICOSKI, E. M. G. **Mofo branco**. téc.ed. Ponta Grossa: Toda palavra, p. 520, 2017.

JACCOUD-FILHO, D. de S.; LES, N.; NADAL, V. G. R. Doenças do caule e do sistema radicular na cultura da soja. In: Fundação MT. **Boletim de Pesquisa 2019/2020**. Rondonópolis: entrelinhas, p. 174-188, 2020.

JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto da vegetação. In: JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, cap. 11, p. 357-410, 2011.

JORGE, L. A. C.; BRANDÃO, Z. N.; INAMASU, R. Y. **Insights and recommendations of use of UAV platforms in precision agriculture in Brazil**. 2014. Disponível em: <http://spiedl.org/terms>. Acesso em: 10 fev. 2020.

KHOT, L. R.; SANKARAN, S.; CARTER, A. H.; JOHNSON, D. A.; CUMMINGS, T. F. UAS Imaging-based Decision tools for Arid Winter Wheat and Irrigated Potato Production Management. **Remote Sens**. v. 37, p. 125–137, 2016.

KREZHOVA, D. Spectral Remote Sensing of the Responses of Soybean Plants to Environmental Stresses, Soybean. In: **Genetics and Novel Techniques for Yield Enhancement**. London: IntechOpen, p. 215-256. 2011. Disponível em: <http://www.intechopen.com/books/soybean-genetics-and-noveltechniques-for-yield-enhancement/spectral-remote-sensing-of-the-responses-of-soybean-plants-toenvironmental-stresses>. Acesso em: 11 fev. 2020.

LACERDA, V. S. **Estimativa do Índice de Severidade de Ferrugem Asiática na Cultura da Soja por Meio de Imagens Obtidas com Aeronave Remotamente Pilotada**. 2016. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - Universidade Estadual de Ponta Grossa. 2016.

LAKE, B. M.; ULLMAN, T. D.; TENENBAUM, J. B.; GERSHMAN, S. J. Building machines that learn and think like people. **Behavioral Brain Sciences**. v. 40, p. 1-72, 2017.

LODHA, S.; MAWAR, R. Population dynamics of *Macrophomina phaseolina* in relation to disease management: A review. **Journal of Phytopathology**. v. 168, p. 1-17, 2020. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jph.12854?casa_token=X27hB_OTc1sAAAAA%3At7Un4UMcnB1RMwaibu5C9F789C-Qn4Jdgox5mZrrU_sn_k5TddGZxFVFuQTrJ25H6MMLodb-6_x9Qw Acesso em: 10 dez. 2021.

LOPES, U. P.; MICHEREFF, S. J. **Desafio do manejo de doenças radiculares causadas por fungos**. Recife: EDUFRPE, ed. 1, p. 208, 2018.

MAHLEIN, A. K. Plant Disease Detection by Imaging Sensors - Parrels and Specific Demands for Precision Agriculture and Plant Phenotyping. **Plant Disease**. v.100, n. 2, p. 241-251, 2016.

MALVICK, D. **Fusarium root rot on soybean**. University of Minnesota Extension. Disponível em: <<https://extension.umn.edu/pest-management/fusarium-root-rot-soybean>> Acesso em: 8 dez. 2021.

MCGOVERN, R. J. Management of tomato diseases caused by *Fusarium oxysporum*. **Crop Protection**, v. 73, p. 78-92, 2015.

MESQUITA, R. B.; MERLO, E. M.; GREMAUD, A. P. Panorama do comércio exterior brasileiro: evolução dos principais parceiros e produtos (1997-2020). **Brazilian Journal of Latin American Studies**, São Paulo, v. 20, n. 39, p. 414-440, 2021. Disponível: <https://www.revistas.usp.br/prolam/article/view/178485/173661>. Acesso em: 30 ago. 2021.

MICHEREFF, S. J. **Fundamentos de Fitopatologia**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, 172 p, 2001.

MICHEREFF, S. J.; DOMINGOS, E. G. T. A.; MENEZES, M. **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, p. 398, 2005.

MONTOYA, M. A.; BERTUSSI, L. A.; LOPES, R. L.; FINAMORE, E. B. Uma nota sobre consumo energético, emissões, renda e emprego na cadeia de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, v. 73, n. 3, p. 345-369, 2019.

NAKAJIMA, T.; MITSUEDA, T.; CHARCHAR, M.J.D. First occurrence of sudden death syndrome of soybean in Brazil. **Japanese agricultural research Quarterly**, v. 30, n.1, p. 31-34, 1996.

NETO, A. L. de F.; DIANESE, A. de C.; SANTIN, M. R.; COUTO, B. C. do. Caracterização de genótipos de soja na região dos Cerrados quanto à reação à podridão vermelha da raiz, causada pelos fungos *Fusarium tucumaniae* e *Fusarium brasiliense*. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 2, p. 215-220, 2013.

NEVALAINEN, O.; HONKAVAARA, E.; TUOMINEN, S.; VILJANEN, N.; HAKALA, T.; YU, X.; HYYPPÄ, J.; SAARI, H.; PÖLÖNEN, I.; IMAI, N. N.; TOMMASELLI, A. M. G. Individual Tree Detection and Classification with UAV-Based Photogrammetric Point Clouds and Hyperspectral Imaging. **Remote Sensing**, v. 9, p. 1-34, 2017.

NOGUEIRA, L. C. A. **Machine learning para detecção de *Pratylenchus rachyurus* na cultura da soja utilizando imagens MSI/SENTINEL-2**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, 2019.

OLIVEIRA, P. R. P. de M. **Variabilidade de isolados de *Fusarium app*. Causadores da podridão vermelha da raiz da soja**. 2010. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

OLIVEIRA, C. O.; PINTO, C. C.; GARCIA, A.; BETTIOL, J. V. T.; SÁ, M. E. de; LAZARINI, E. Produção de sementes de soja enriquecidas com molibdênio. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 64, n. 3, p. 282-290, jun 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2017000300282&lng=en&nrm=iso> Acesso em: 12 dez. 2020.

OLIVEIRA, G. de O.; KETTNER, M. G.; LIMA, M. L. de S.; ARAÚJO, E. R.; SILVA, A. R.; COSTA, A. F. Potencial de biocontrole de *Tricoderma* spp. contra *Macrophomina phaseolina* do feijão-caupi. **Pesquisa Agropecuária**, Recife, v. 26, n. 2, 2021.

PAN, Y. Heading toward Artificial Intelligence 2.0, **Engineerring**, v. 2, p. 409-413, 2016.

PAULA JUNIOR, T. J. de et al. Mofo-Branco. In: DALLA PRIA, M.; SILVIA, O. C. da. **Cultura do feijão: doenças e controle**. 1.ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, Cap. 2, p. 101-106, 2010.

PICININI, E. C.; FERNANDES, J. M. **Doenças de soja: diagnose, epidemiologia e controle**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, ed. 3, p. 103, 2003.

RAMALHO, J. T.; RODRIGUES, R. da S.; OLIVEIRA, A. C. B. de. Composição química de diferentes genótipos de soja convencionais. In: SIMPÓSIO DE SEGURANÇA ALIMENTAR. 7., 2020. Porto Alegre. **Anais [...]** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos – Seção Regional do R.G.S, out. 2020. Disponível em: <http://schenautomacao.com.br/ssa7/envio/files/trabalho3_169.pdf> Acesso em: 12 dez. 2020.

Raza, M. M.; Harding, C.; L, M.; L, L. F. Exploring the potential of high-resolution satellite imagery for the detection of soybean sudden death syndrome. **Remote Sensing**, v. 12, 2020.

REIS, E. M.; CASA, R. T. **Doenças de soja: etiologia, sintomatologia, diagnose e manejo integrado**. Passo Fundo: Berthier, p. 436, 2012.

REIS, E. M.; SAGALIN, M.; MORAES, N. L.; GHISSI, V, C. Efeito da rotação de cultura na incidência de podridão radicais e na produtividade da soja. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 40, n. 1, p. 9-15, 2014.

ROY, K. M. *Fusarium solani* on soybean roots: nomenclature of the causal agent of sudden death syndrome and identity and relevance of *F. solani* form B. **Plant disease**, v. 81, p. 259-266, 1997.

RUSSELL, S. J.; EDWARDS, D. D. **Artificial intelligence: a modern approach**. Upper Saddle River, New Jersey v. 2. P. 1061, 2003.

Safra Mundial de Soja 2019/20 - 9º Levantamento do USDA. São Paulo: FIESP, janeiro/2020.

SAHOO, R.N.; RAY, S.S.; MANJUNATH, K. R. Hyperspectral remote sensing of agriculture. **Current Science**, v. 108, n. 5, p. 848-859, 2015.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. Fisiologia das Plantas [tradução Patricia Lia Santarosa] In: **Fisiologia ambiental**, São Paulo: Cengage Learning, ed. 4, 2012.

SANG, H.; WITTE, A.; JACOBS, J. L.; CHANG, H.; WANG, J.; ROTH, M. G.; CHIVERS, M. I. Fluopyram sensitivity and functional characterization of SdhB in the *Fusarium solani* species complex causing soybean sudden death syndrome. **Frontiers in Microbiology**. v. 9, Art de 2335, 2018. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2018.02335/full>> Acesso em: 12 dez. 2021.

SANTOS, R. B. L. de. **Método para síntese de técnicas de seleção de atributos disponíveis no software WEKA**. 2016. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) — Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2016.

SANTOS-JUNIOR, R. F. dos; SANTOS, J. M. dos; RUDORFF, B. F. T.; MARCHIORATO, I. A. Detecção de *Heterodera glycines* em Plantio de Soja Mediante Espectrorradiometria no Visível e Infravermelho Próximo. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, p. 355-360. 2002.

SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALNINOT-JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. de C. **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, n. 17, p. 347, 2020.

SETERA. **DJI Inspire Double 4K upgrade – Upgrade Only**. Disponível em: <https://setera.com/product/inspire-double-4k-upgrade-crop-health-sensor/>> Acesso em: 19 fev. 2020.

SIMONI, F. de. **Germinação e vigor de sementes de soja em função da disponibilidade hídrica do solo e presença de *Phomopsis sojae***. 2007. Tese (Doutorado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp – Campus Jaboticabal, 2007. Disponível em:< https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/105111/simoni_f_dr_jabo.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 27 dez. 2021.

SUGIURA, R.; TSUDA, S.; TAMIYA, S.; ITOH, A.; NISHIWAKI, K.; MURAKAMI, N.; SHIBUYA, Y.; HIRAFUJI, M.; NUSKE, S. Field Phenotyping System for the assessment of Potato Late Blight Resistance Using RGB Imagery from an Unmanned Aerial Vehicle. **Biosystems Engineerig**, v. 148, p. 1–10, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed., Artmed, p. 918, 2017.

TETILA, E. C.; MACHADO, B. B.; BELETE, N. A. S.; GUIMARÃES, D. A.; PISTORI, H. Identification of Soybean Foliar Diseases Using Unmanned Aerial Vehicle Images. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 14, p. 2190–2194, 2017.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M., F. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 159-163, 2002.

WENDLING, A. **Sensoriamento Remoto para Identificação da Variabilidade no Índice de Massa da Soja e Auxílio no Diagnóstico de Suas Causas**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), Santa Maria, 2014.

YAN, H.; NELSON-JR, B. Effect of temperature on *Fusarium solani* and *F. tricinctum* growth and disease development in soybean, **Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 42, n. 4, p. 527-537, 2020.

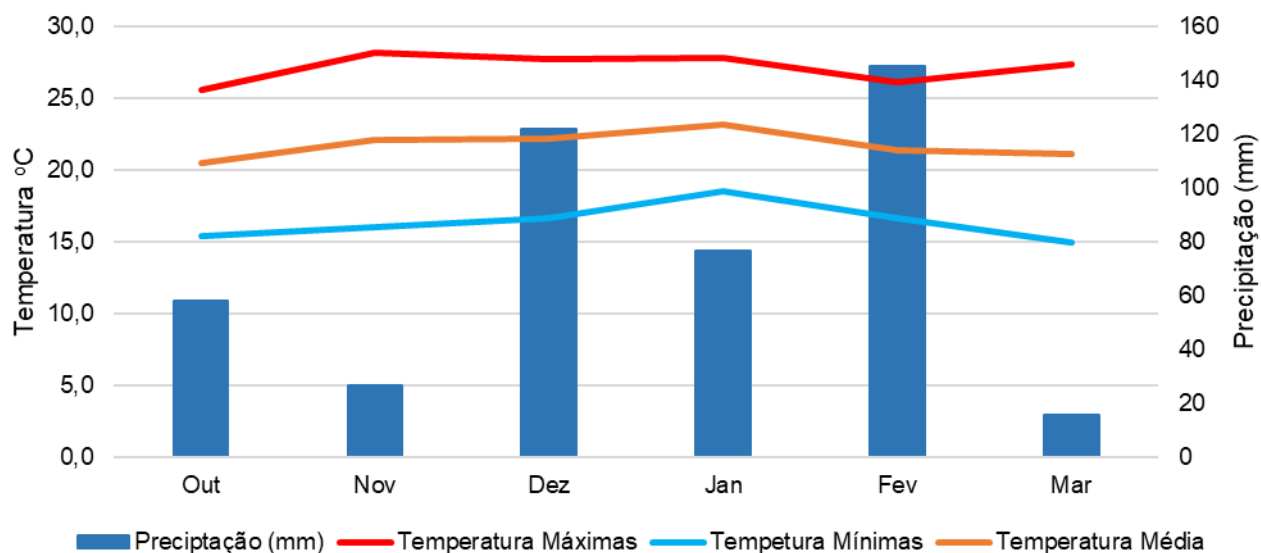
YORINORI, J.T. **Cancro da haste da soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, comunicado técnico, 44, p. 8, 1990.

YORINORI, J. T.; CHARCHAR, M.J.D.; NASSER, L.C.B.; HENNING, A.A. Doenças de soja e seu controle. In: ARANTES, N.E.; SOUZA, P.I.M. **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: Potafos, p. 333-397, 1993.

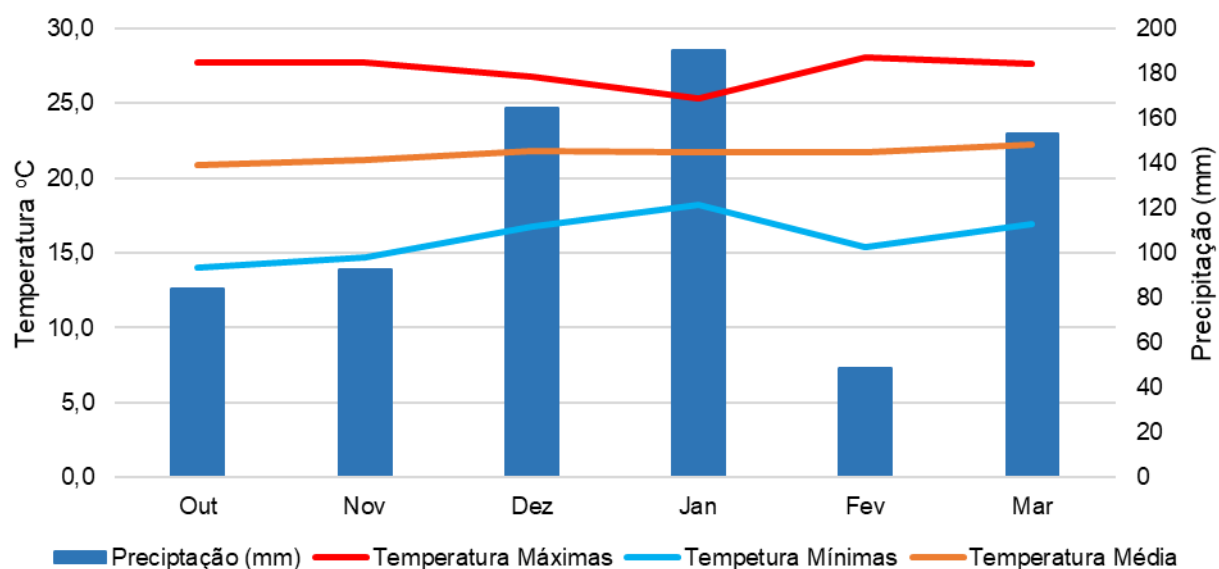
YORINORI, J. T.; **Cancro da haste da soja**: epidemiologia e controle. Londrina: Embrapa Soja, Circular Técnico 14, p. 75, 1996.

YORINORI, J. T.; YUYAMA, M. M.; SIQUERI, F. V.; ARAÚJO-JUNIOR, I. P. de. Doenças da soja. In: Fundação MT. **Boletim de Pesquisa 2017/2018**. Rondonópolis: entrelinhas, p. 212-260, 2018.

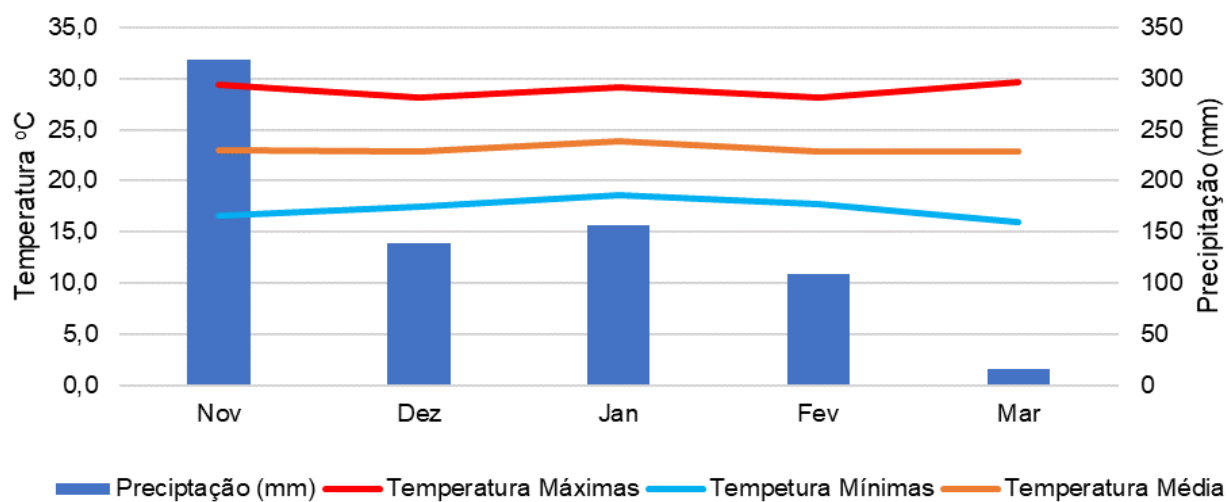
ZACCARON, M. L.; RUPE, J. C.; HOLLAND, R. T. Association of *Phomopsis longicolla* and *Macrophomina phaseolina* with zone lines in soybean toots at maturity. In: ANNUAL MEETING OF THE SOUTH SOYBEAN DISEASE WORKERS, 2014. **Anais [...]** 2014.



Anexo A – Dados da estação meteorológica da 3M da safra 2019/2020, Ponta Grossa, PR – 2022.



Anexo B – Dados da estação meteorológica da 3M da safra 2020/2021, Ponta Grossa, PR – 2022.



Anexo C – Dados da estação meteorológica da Agro Olimpia da safra 2019/2020, Wenceslau Braz, PR – 2022.

Laudos Nº
467/21



LABORATORIO INTERPARTNER



Solicitante: Rodrigo Marochi	Número de Amostras:	4
Endereço: -	Data de Recebimento:	19/08/2021
Município: Ponta Grossa - PR	Data de Análise:	25/08/2021 16:37:20

Controle interno	Profund. de coleta	pH	H + Al	Al	Ca	Mg	K	SB	CTC	P Mehlich	P Rem	P Resina	C	MO	V	m Al
nº.	cm		===== mmol _c /dm ³ =====							mg/dm ³			g/dm ³		%	
PG	00-10	5,74	23,87	0,00	47,10	16,20	2,40	65,70	89,57	76,00	--	--	16,32	28,14	73,35	0,00
PG	10-20	5,54	28,23	0,00	26,00	10,60	1,10	37,70	65,93	7,40	--	--	9,50	16,38	57,18	0,00
WB	00-10	5,84	22,84	0,00	42,60	14,90	5,00	62,50	85,34	37,80	--	--	16,91	29,15	73,24	0,00
WB	10-20	5,07	33,97	0,00	27,40	9,90	2,40	39,70	73,67	52,80	--	--	9,35	16,12	53,89	0,00

Controle interno	MICRO / OUTROS									FÍSICA		
	B	Zn	Cu	Mn	Fe	Na	S	Condutividade		Argila	Silte	Areia
nº.	mg/dm ³						mg/dm ³	uS/cm		%		
PG	--	--	--	--	--	--	--	--		16,90	4,60	78,50
PG	--	--	--	--	--	--	--	--		17,65	5,15	77,20
WB	--	--	--	--	--	--	--	--		17,50	5,40	77,10
WB	--	--	--	--	--	--	--	--		19,60	4,40	76,00

H - CaCl₂ 0,01M; P - Mehlich ou Resina; B - Água Quente; H + Al - Acidez Total ou Potencial; C - Walkley e Black; Zn, Cu, Mn, Fe - DTPA; Ca, Mg, Al - KCl 1N; MO - Matéria Orgânica; S - Cloreto de Bário; K, Na - Mehlich; V - Índice de Saturação de Bases; FÍSICA - Pipeta; SB - Soma de Bases; CTC - Capacidade de Troca de Cátions; m Al - Índice de Sat. de Alumínio.