

ARTIGO ORIGINAL

Comparação de imagens aéreas com câmeras NIR usando veículos não tripulados (VANTs) para estimativa de severidade e desfolha de *Phakopsora pachyrhizi* na cultura da soja

André Luis da Silva¹, Marcelo Giovanetti Canteri², Guilherme de Genaro Moreira³

¹Doutor em Fitopatologia pela Universidade Estadual de Londrina e Pesquisador da empresa ALS Pesquisas Agronomicas, Rua Luiz Lercio, 355 Apto 1804, T1, CEP: 86047-610, Londrina, PR, Brasil; ²Professor associado de fitossanidade/fitopatologia da Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia. Rod. Celso Garcia Cid, PR 445, Km 380, Laboratório de Fitopatologia, Campus Universitário 86051990, CP 6001, Londrina, PR, Brasil; ³Graduado em Agronomia pela Universidade Estadual de Londrina. Pesquisador de campo empresa Agrocube. Rua Olímpio Theodoro, 1055 Spazzio La Vitta, Londrina, PR, Brasil.

Autor correspondente: André Luis da Silva (andreluis111@gmail.com)

Data de recebimento: 04/09/2023. Aceito para publicação em: 18/10/2023

10.1590/0100-5405/278219

RESUMO

Silva, A.L.; Canteri, M.G. Moreira, G.G. Comparação de imagens aéreas com câmeras NIR usando veículos não tripulados (VANTs) para estimativa de severidade e desfolha de *Phakopsora pachyrhizi* na cultura da soja. *Summa Phytopathologica*, v.50, p.1-8, 2024.

Tradicionalmente, a avaliação da severidade das doenças, como a ferrugem asiática, é realizada por inspeções visuais de tecidos infectados, utilizando escalas diagramáticas. Contudo, esses métodos demandam custos elevados e estão sujeitos a análises subjetivas devido a possíveis erros dos avaliadores. Com isso, o objetivo deste estudo foi analisar os dados de imagens obtidas por câmera NIR, buscando-se através do NDVI, correlacionar os dados das imagens com a severidade e desfolha obtidas no campo. Foram realizados 03 ensaios na fazenda escola da Universidade Estadual de Londrina, na safra 2016/2017, coordenadas geográficas S: 23°20'34,4" O: 51°12'41,3" e altitude de 570 m, no município de Londrina, Paraná. A cultivar utilizada foi a DM6563 IPRO, com densidade populacional de 260 mil plantas por hectare. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo cada repetição constituída por parcelas de seis linhas com espaçamento de 0,45 metros, com comprimento de 6 metros. Os ensaios foram compostos por uma testemunha e

diversos tratamentos com diferentes aplicações de fungicidas que apresentavam as melhores eficácias para o controle da ferrugem asiática da soja no período de estudo. Os ensaios foram denominados de Consfit, Expert e STCK e o gradiente de intensidade da ferrugem foi gerado por meio da aplicação de diferentes fungicidas em diferentes estágios fenológicos e números de aplicações variados. Observou-se nos resultados bons índices de correlação (acima de 90%) com pixels de 3,4 cm e observou-se que conforme aumentava o tamanho do pixel, reduzia a correlação obtida tanto em severidade da doença quanto em desfolha. Os resultados sugerem que é possível utilizar imagens aéreas com câmeras NIR em VANTs para estimar a severidade e desfolha de *Phakopsora pachyrhizi* na cultura da soja. Isso pode permitir um monitoramento mais eficaz das doenças e uma tomada de decisão mais precisa em relação ao manejo fitossanitário da cultura, contribuindo assim para a redução do uso de agroquímicos e para a otimização dos rendimentos.

Palavras-chave: NDVI, multiespectral, ferrugem asiática, Sensoriamento remoto

ABSTRACT

Silva, A.L.; Canteri, M.G. Moreira, G.G. Comparison of aerial images with NIR cameras using unmanned aerial vehicles (UAVs) to estimate severity and defoliation by *Phakopsora pachyrhizi* in soybean crop. *Summa Phytopathologica*, v.50, p.1-8, 2024.

Traditionally, the severity of diseases, such as Asian rust, is assessed through visual inspections of infected tissues based on diagrammatic scales. However, these methods involve high costs and subjective analyses due to potential errors by the evaluators. Thus, the aim of the present study was to analyze the image data obtained with a NIR camera, using NDVI to correlate the image data with severity and defoliation obtained in the field. Three trials were conducted at the School Farm of the State University of Londrina, during the 2016/2017 crop season, at geographical coordinates S: 23°20'34.4" W: 51°12'41.3" and 570 m altitude, in the municipality of Londrina, Paraná State, Brazil. The used cultivar

was DM6563 IPRO, and the population density was 260 thousand plants per hectare. Experimental design was in randomized blocks with four replicates, each replicate consisting of plots with six 6m-width rows spaced 0.45 meters apart. The trials included one control and several treatments with different applications of fungicides that showed the best efficacy for controlling Asian soybean rust during the study period. The trials were named Consfit, Expert and STCK, and rust intensity gradient was generated by applying different fungicides at diverse phenological stages and varying numbers of applications. Good correlation indices (above 90%) were observed with 3.4 cm pixels, and as the pixel size

increased, the obtained correlation with both severity and defoliation decreased. The results suggest that it is possible to use aerial images with NIR cameras on UAVs to estimate severity and defoliation by *Phakopsora pachyrhizi* in

soybean crops. This could make the disease monitoring more effective and the decision-making more precise regarding the crop phytosanitary management, thus contributing to reduced use of agrochemicals and optimized yields.

Keywords: NDVI, multispectral, Asian rust, remote sensing.

A soja tem uma significativa importância econômica como uma das principais culturas agrícolas mundialmente. No Brasil, na safra 2022/2023, a cultura da soja ocupou aproximadamente 44,03 milhões de hectares e alcançou uma produção estimada em 155,7 milhões de toneladas, com produtividade média de cerca de 3.537 kg/ha (4). Diversos fatores afetam o rendimento da cultura, dentre eles, as doenças. No Brasil, existem cerca de 40 doenças identificadas na cultura da soja, causadas por fungos, bactérias, nematoides e vírus. A severidade dessas doenças varia conforme as condições climáticas de cada safra (18). A ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & Syd., é um dos principais patógenos, podendo causar danos de até 100% na cultura se não for adequadamente controlada, com custos estimados anuais de até US\$ 2,8 bilhões Godoy et al. (9).

Tradicionalmente, a avaliação da severidade das doenças, como a ferrugem asiática, é realizada por inspeções visuais de tecidos infectados, utilizando escalas diagramáticas. Contudo, esses métodos demandam custos elevados e estão sujeitos a análises subjetivas devido a possíveis erros dos avaliadores Amorim et al. (1). Com o avanço das tecnologias de sensoriamento remoto, busca-se ferramentas mais precisas, rápidas e acessíveis para quantificar os sintomas das doenças, como a ferrugem asiática, visando resultados reprodutíveis Lacerda (15).

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) têm se mostrado como uma alternativa eficaz aos sistemas de sensoriamento remoto convencionais. Eles permitem análises remotas altamente flexíveis, de baixo custo e não destrutivas Campbell & Wynne (3). Estudos têm utilizado imagens multiespectrais e termais para identificar doenças e avaliar o estado de saúde de diferentes culturas Calderón et al. (2); Garcia-Ruiz et al. (6).

Neste contexto, este estudo teve como objetivo analisar a viabilidade da estimativa da severidade da ferrugem asiática da soja, correlacionando os índices de vegetação obtidos a partir de imagens aéreas com câmeras NIR (Infravermelho Próximo) com os dados de severidade e desfolha obtidos a campo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizados 03 ensaios na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, na safra 2016/2017, coordenadas geográficas S: 23°20'34,4" O: 51°12'41,3" e altitude de 570 m, no município de Londrina, Paraná. Os ensaios foram denominados de Consfit, Expert e STCK. A cultivar utilizada foi a DM6563 IPRO, com densidade

populacional de 260 mil plantas por hectare. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo cada repetição constituída por parcelas com seis linhas com espaçamento de 0,45 metros, com largura de 6 metros.

Os ensaios foram compostos por uma testemunha e diversos tratamentos com aplicações de diferentes fungicidas que apresentavam as melhores eficiências para ferrugem asiática da soja no período de estudo. O gradiente de intensidade da ferrugem foi gerado por meio da aplicação de diferentes fungicidas, que foram aplicados em diferentes estágios fenológicos e números de aplicações variados, como descrito na Tabela 1. Como o objetivo final deste estudo não foi obter a eficiência proporcionada pelos produtos e sim níveis de severidade de ferrugem asiática da soja para correlação com as refletâncias geradas pelas imagens, optou-se em não descrever os produtos utilizados.

A quantificação da severidade foi realizada por uma equipe treinada com o auxílio de escala diagramática Godoy et al. (8). Foram realizadas avaliações semanais a partir do florescimento da cultura até a desfolha total das plantas. Foi avaliada a ocorrência de outras doenças na área, observando-se a quantidade de 1% de incidência de doenças de final de ciclo (DFC), que, se considerou como insignificante para atrapalhar o estudo em questão. A avaliação de desfolha iniciou-se quando a testemunha atingiu 80%, onde, a partir deste momento, foram realizadas semanalmente com auxílio da escala diagramática de desfolha Hirano et al. (13).

Considerou-se para as análises de correlações as avaliações de severidade de ferrugem asiática da soja e desfolha das plantas realizadas no dia das obtenções das imagens (16/03/2017), momento em que a soja se encontrava no estágio fenológico R5.5 conforme escala proposta por Ritchie et al. (17). Os dados de campo e obtenção das imagens ocorreram no mesmo dia, possibilitando correlacionar os dados de um mesmo período.

Planejamento de Voo e Obtenção de Imagens

Para realizar a coleta de imagens aéreas foram utilizados o VANT eBee, da empresa Sensefly, utilizando uma câmera, de modelo Canon S110 NIR com 12 megapixels, obtendo as imagens em voos separados, porém no mesmo dia. A câmera foi fornecida com um conjunto de parâmetros configurados pela empresa SenseFly, sendo que a configuração mais importante é a relação da velocidade do obturador, que deve ser a menor possível a fim de evitar borrões nas imagens, visto que as câmeras estão em constantes movimentos durante a realização do voo SANTIAGO-CINTRA (18).

Tabela 1 – Características dos ensaios para avaliações de ferrugem asiática da soja realizados na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina na safra 2016/2017.

Ensaio	Número de tratamentos	Número de aplicações	Intervalo de aplicação (Dias)	Estádio de Aplicação
1	8	3	14	R ₁ , R ₃ , R _{5,1}
2	8	3	14	R ₁ , R ₃ , R _{5,1}
3	9	4	14	R ₁ , R ₃ , R _{5,1} , R _{5,4}

Os voos foram realizados sobre a área experimental, no período de 09:35 da manhã até as 10:50 da manhã, com altitude planejada para coletas de imagens na resolução de 3,4 cm/pixel, 10 cm/pixel e 20 cm/pixel (Tabela 2).

Tabela 2. Informações de altura em relação ao solo (m) e altitude média dos voos (m) realizados para obtenção das imagens.

Resolução (cm/pixel)	Altura do voo em relação ao solo (m)	Altitude do Voo (m)
Câmera NIR 3,4	120	690
Câmera NIR 10	286	856
Câmera NIR 20	572	1142

Para identificar o ponto central do ensaio foram criados os GCPs do inglês (*Groud Control Points*), que são marcadores de fundo branco que possuem um desenho de um “X” de cor preta, que foram posicionados ao redor da área experimental, de tamanho 60 cm x 60 cm. Para coleta da posição do GCPs, com coordenadas pós processadas baseadas nas estações de Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC) utilizou-se um receptor geodésico Trimble Pro XT Pathfinder® utilizado no georreferenciamento da área.

Após as imagens obtidas com os voos, estas foram pré-processadas pelo software Emotion 2 e processadas no software PIX4D, onde foram georreferenciadas, e no caso da câmera NIR, foi feita a conversão do formato CR2 (*Canon Raw Version 2*) gerado pela câmera para o formato TIFF, formato que é utilizado para esta câmera na geração dos mapas de Refletância PIX4D (16).

Para o processamento das imagens de alta resolução espacial coletadas por VANTs foi necessário que houvesse a captura de um número grande de imagens e que estas fossem sobrepostas e capazes de produzir uma única imagem, que denominamos ortomosaico, que representa toda área de trabalho Gómez-Candón et al. (10). Para garantir a precisão de criação do ortomosaico, os GCPs foram utilizados como pontos de apoio no terreno Gómez-Candón et al. (10). Para a correção geométrica das imagens foi utilizada a ferramenta do software QGis (7), software de uso livre, que capacita a correção de um mosaico já gerado, utilizando pontos de controle selecionados manualmente.

Tanto o mapa de Refletância quanto o ortomosaico foram obtidos a partir do MDS, que é um modelo digital de superfície gerado através do software PIX4D que calcula as posições e orientações das imagens originais de forma automática através da triangulação aérea (AAT – do inglês *Automatic Aerial Triangulation*) e do ajuste de feixes em bloco (BBA – do inglês *Bundle Block Adjustment*), com base em uma nuvem de pontos 3D obtidos durante a ATT e BBA gera-se o MDS pela ligação destes pontos. O ortomosaico é criado a partir da combinação das imagens originais com o MDS (PIX4D, 2016).

Para criação do ortomosaico, o software aplicou o equilíbrio de cores, que buscou ajustar a intensidade de cores de cada imagem, para que elas se encaixassem melhores no conjunto. Para o mapa de refletância, não foi aplicado o equilíbrio de cores e o peso de cada pixel a partir das imagens originais na média ponderada foram computadas de formas diferentes. O objetivo do mapa de refletância foi reproduzir o mais fielmente possível o valor do pixel relacionado à sua refletância PIX4D (16).

Após a correção geométrica dos mapas de Refletância, foram definidos pontos aleatórios dentro de cada parcela. Utilizou-se um polígono de 4,5 m² (1,5 m de largura e 3 m de comprimento), centralizado ao máximo dentro da parcela, visando manter sua área, evitando-se a invasão de parcelas vizinhas e efeito de bordadura. O cálculo para definição do número de pontos foi baseado no valor que recobriu suficientemente o número de pixels de cada polígono por parcela. Este número máximo de pontos foi obtido pela divisão da área (m²) pela resolução da imagem obtida (Ex: pixel de 3,4 cm de aresta por pixel ou 0,034 m de aresta por pixel). Foi considerada a extração de 10% da densidade de pixels dentro de cada polígono para cada resolução.

Para cada índice, foram extraídos os valores das três bandas espectrais dos dois mapas de Refletância (Para as câmeras NIR) no dia 16/03/2017, data de realização do voo. Os valores de refletância foram extraídos pela ferramenta Point Sampling Tool do software QGIS (7).

Análise de dados

Após a extração das refletâncias das bandas das imagens com a câmera NIR e RGB nas três resoluções, elas foram correlacionadas com os parâmetros severidade e desfolha provocados por ferrugem asiática da soja avaliadas no campo.

Calculou-se a média dos valores de refletância dos pixels por parcela experimental, calculou-se o Índice de vegetação por diferença Normalizada (NDVI) com os dados obtidos com as imagens da câmera NIR e correlacionou com os dados de severidade de ferrugem asiática e desfolha das plantas obtidas pela avaliação visual por meio de análise de regressão linear e correlação de Pearson. As análises de correlação foram realizadas pelo software WEKA versão 3.8 Frank et al. (5).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Imagens NIR X Severidade e desfolha visual

Foram observadas correlações negativas com dados de NDVI com severidade e desfolha. Estas correlações negativas podem ser explicadas devido as respostas espectrais no infravermelho próximo (entre 700 e 1.100 nm) da vegetação verde sadia fornecerem informações sobre a senescência e/ou causas de estresses nas plantas, devido ao fato das plantas sadias possuírem grande Refletância nessa região do espectro, e na medida em que a Refletância diminui, ocorre mudanças em sua fisiologia JENSEN (14).

Silva et al. (19), observaram em seu trabalho que leituras de Refletância na faixa espectral do infravermelho próximo apresentam resultados inversamente proporcionais às avaliações de severidade de ferrugem asiática da soja. Hikishima et al. (12), demonstraram em seu trabalho onde analisaram quatro experimentos, que conforme o progresso da severidade de ferrugem asiática da soja durante os estádios fenológicos da cultura, ocorria redução dos valores de NDVI.

Os resultados apresentados a seguir estão em concordância com as referências citadas anteriormente demonstrando coeficientes de correlação negativos entre NDVI e severidade de ferrugem asiática e desfolha das plantas.

Ao analisar os dados de NDVI obtidos com a câmera NIR, os ensaios apresentaram os melhores coeficientes de correlação, sendo cima de 0,8.

Nas análises de correlação obtidas entre o NDVI e a severidade para resolução de 3,4 cm/pixel, observou-se que o ensaio Consfit apresentou maior coeficiente de correlação ($r = -0,958$). O ensaio STCK apresentou ($r = -0,928$) e o ensaio Expert ($r = -0,914$) (Figura 1).

Fig. A

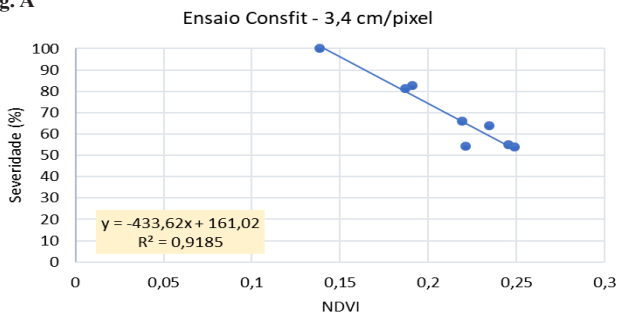


Fig. B

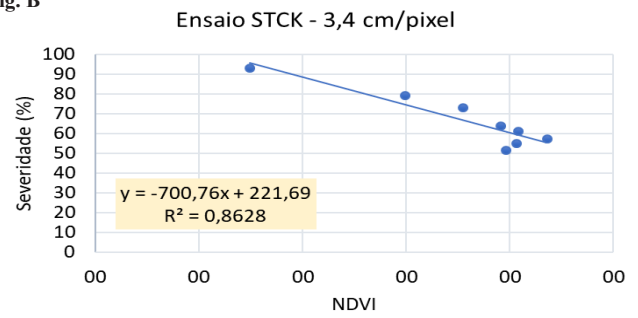


Fig. C

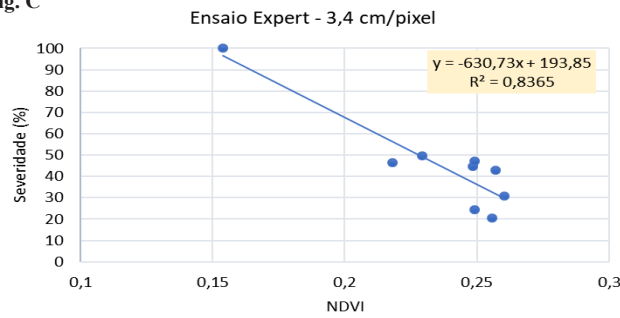


Figura 1. Dispersão do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na resolução de 3,4 cm/pixel para severidade em R5.5. Figura A Ensaio Consfit, Figura B Ensaio STCK e Figura C ensaio Expert.

Para a resolução de 10 cm/pixel, observou-se maior coeficiente de correlação entre NDVI e severidade para o ensaio STCK (r=

-0,953) seguido pelo ensaio Consfit (r= -0,937) e Expert (r= -0,833) (Figura 2).

Fig. A

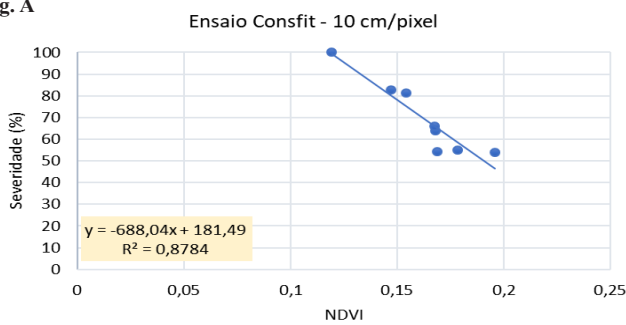


Fig. B

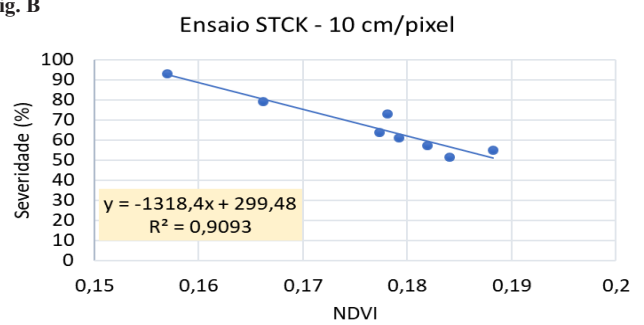


Fig. C

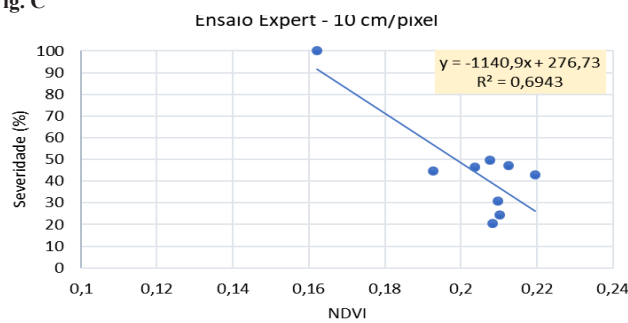


Figura 2. Dispersão do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na resolução de 10 cm/pixel para severidade em R5.5. Figura A Ensaio Consfit, Figura B Ensaio STCK e Figura C ensaio Expert.

Para as resoluções de 20 cm/pixel, observou-se maior coeficiente de correlação entre NDVI e severidade para o ensaio

STCK ($r=-0,942$) seguido pelo ensaio Expert ($r= -0,865$) e Consfit ($r= -0,844$) (Figura 3).

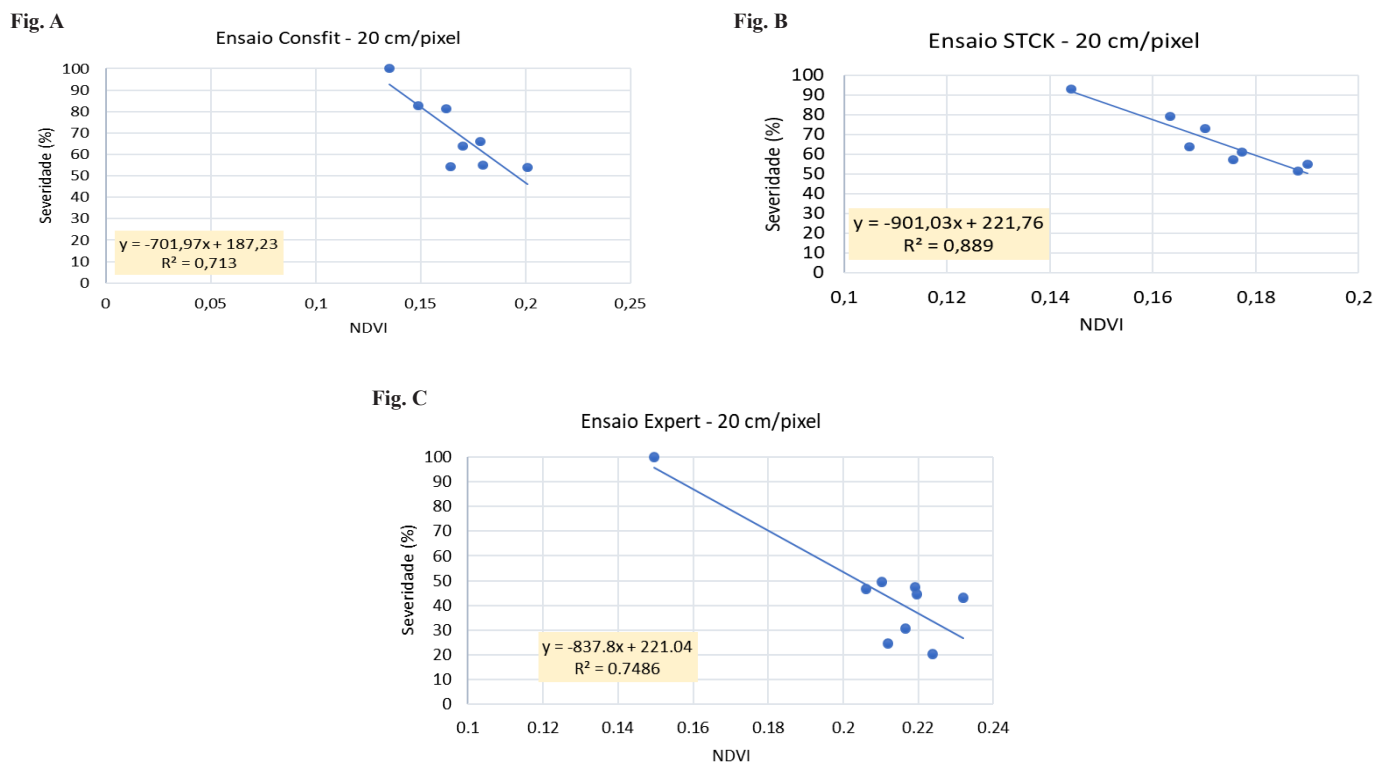


Figura 3. Dispersão do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na resolução de 20 cm/pixel para severidade em R5.5. Figura A Ensaio Consfit, Figura B Ensaio STCK e Figura C ensaio Expert.

Nos resultados obtidos dos ensaios analisados, observou-se concordância com os resultados obtidos por Lacerda (15), que encontrou coeficientes de correlação acima de 90% com dados de NDVI gerados de Refletâncias obtidas de imagens aéreas com severidade de ferrugem asiática da soja. Em trabalho de Garcia-Ruiz et al. (6), por meio de imagens aéreas, foram encontradas diferenças significativas na detecção de plantas de citrus infectadas com Huanglongbing.

No trabalho de Silva et al. (19) onde utilizaram medidas de Refletância na faixa do infravermelho obtidas com uso de radiômetro Cropscan para estimar o efeito de fungicidas no controle de ferrugem asiática da soja, observaram coeficiente de determinação acima de 80%.

Os resultados das correlações obtidas no presente estudo indicaram altos coeficientes de correlação entre o NDVI obtido das Refletâncias das imagens aéreas e a severidade da ferrugem asiática da soja avaliadas visualmente no campo, demonstrando que a utilização de imagens aéreas podem ser relevantes para estimativa da doença, principalmente para obter respostas de diferentes tratamentos em ambientes experimentais, onde possibilita-se a análise de repetições de parcelas experimentais de um mesmo tratamento.

3.3.1.2 Correlações Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) com desfolha.

Devido os sintomas da ferrugem asiática da soja estarem relacionados ao amarelecimento foliar, em alta pressão, provocam desfolhas prematuras HARTMAN et al. (11).

De acordo com Hirano et al. (13), a quantificação da desfolha pode ser utilizada como parâmetro para estimar danos, para avaliar

tratamentos em ensaios de controle de doenças em soja e para teste de materiais genéticos resistentes à ferrugem asiática da soja.

Análises de correlação foram realizadas com os parâmetros desfolha e NDVI para cada ensaio e observou-se que os coeficientes de correlação obtidos entre o NDVI e a desfolha, nas resoluções de 3,4, 10 e 20 cm/pixel, foram maiores para os ensaios analisados que apresentaram melhores correlações do NDVI com severidade da doença, o que se explica com a citação de Hartman et al. (11) que desfolhas prematuras podem ser causadas pelos sintomas de ferrugem asiática da soja.

Assim, para a resolução de 3,4 cm/pixel, observou-se maior coeficiente de correlação entre NDVI e desfolha para o ensaio STCK ($r= -0,901$), seguido pelo ensaio Expert ($r= -0,933$) e Consfit ($r= -0,785$) (Figura 4).

Para a resolução de 20 cm/pixel, observou-se maior coeficiente de correlação entre NDVI e desfolha para o ensaio Expert ($r= -0,901$), seguido pelo ensaio STCK ($r= -0,791$) e Consfit ($r= -0,637$) (Figura 6).

Os resultados demonstraram coeficientes de correlação negativos de NDVI com desfolha acima de 0,8 para alguns ensaios, assim como nos resultados apresentados para severidade de ferrugem asiática.

Nos ensaios STCK, Consfit e Expert, o NDVI obtido com as imagens aéreas apresentou correlações interessantes com desfolha causada pela ferrugem asiática da soja e demonstrou ser uma opção para análise deste parâmetro.

Dentre as resoluções analisadas, não observou-se diferenças, pois em todas as resoluções houveram boas correlações do NDVI com a desfolha provocada pela ferrugem asiática da soja.

Fig. A

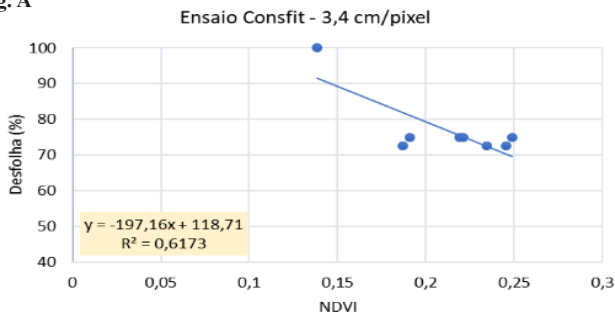


Fig. B

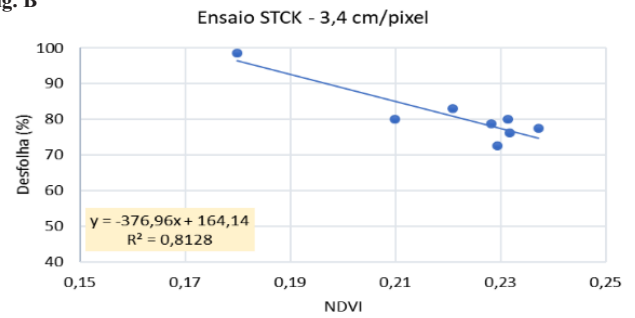


Fig. C

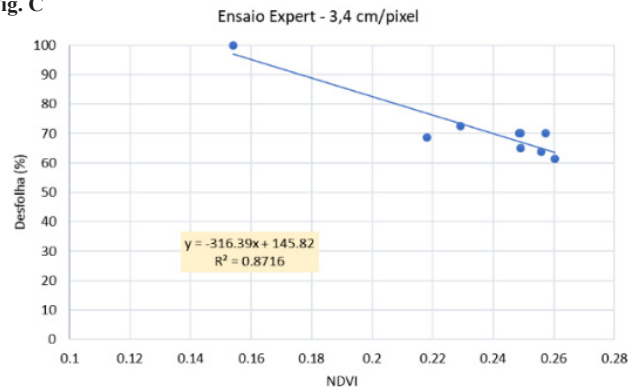


Figura 4. Dispersão do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na resolução de 3,4 cm/pixel para desfolha. Figura A Ensaio Consfit, Figura B Ensaio STCK e Figura C ensaio Expert.

Fig. A

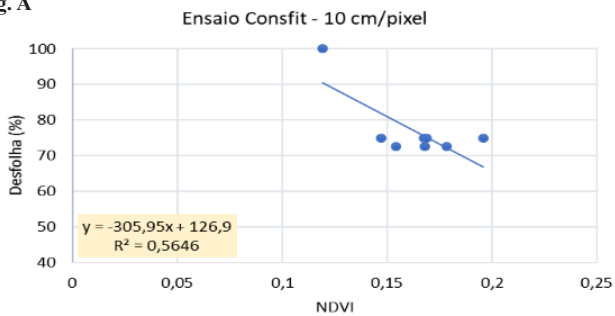


Fig. B

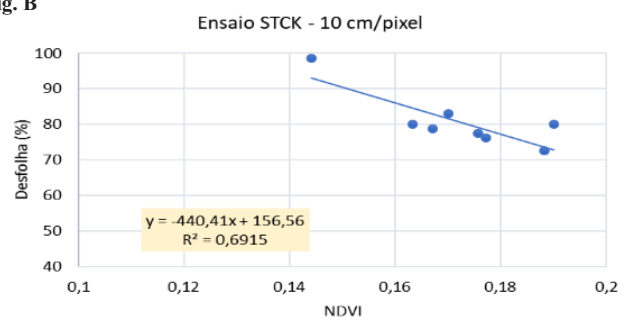


Fig. C

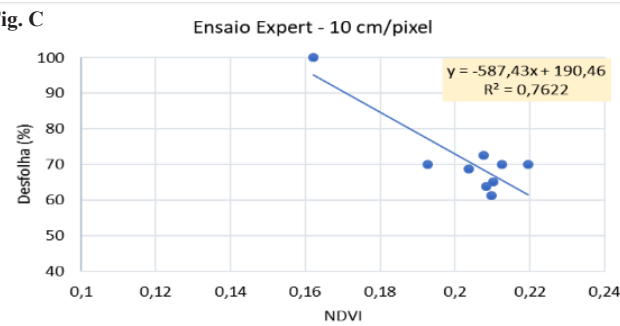


Figura 5. Dispersão do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na resolução de 10 cm/pixel para desfolha. Figura A Ensaio Consfit, Figura B Ensaio STCK e Figura C ensaio Expert.

Fig. A

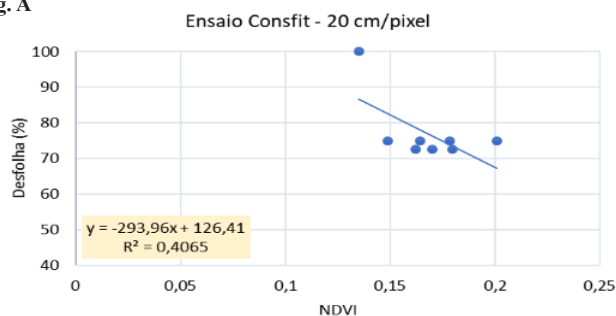


Fig. B

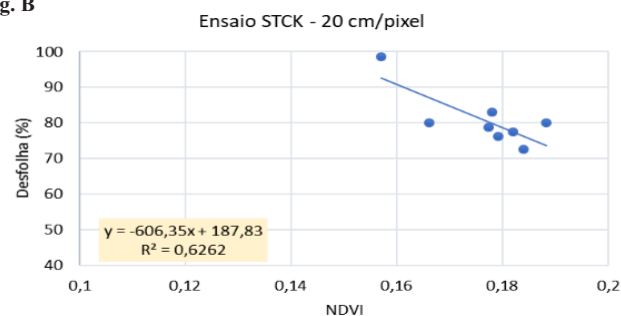


Fig. C

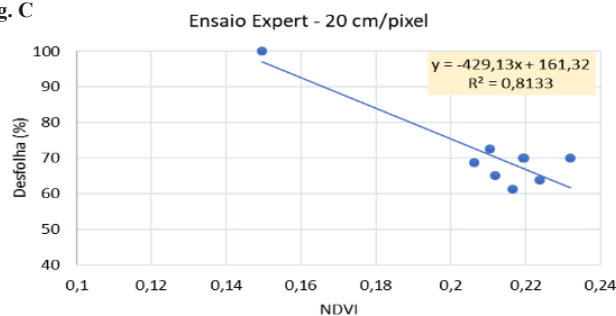


Figura 6. Dispersão do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na resolução de 20 cm/pixel para desfolha. Figura A Ensaio Conffit, Figura B Ensaio STCK e Figura C ensaio Expert.

CONCLUSÕES

Os resultados sugerem que é possível utilizar imagens aéreas com câmeras NIR em VANTs para estimar a severidade no estágio R5.5 e desfolha causada por *Phakopsora pachyrhizi* na cultura da soja. Isso pode permitir um monitoramento mais eficaz das doenças e uma tomada de decisão mais precisa em relação ao manejo fitossanitário da cultura, contribuindo assim para a redução do uso de agroquímicos e para a otimização dos rendimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, L.; RESENDE, A.M.; BERGAMIN FILHO, A.B. **Manual de fitopatologia**. Brasília, DF: Editora Agronomica Ceres, 2011.
- CALDERÓN, R.; NAVAS-CORTÉS, J.A.; LUCENA, C.; CATALINA, A.; ZARCO-TEJADA, P.J. 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 of Environment**, Córdoba, v.139, p.231-245, 2013.
- CAMPBELL, J.B.; WYNNE, R.H. **Introduction to remote sensing**. 5th ed. Nova York: The Guilford Press, 2011.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira grão, Acompanhamento da safra brasileira – 9º levantamento, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/safra-graos/boletim-da-safra-de-graos?start=10>. Acesso em 13 jun. 2023.
- FRANK, E., MARK A. HALL, IAN H. WITTEN (2016). The WEKA Workbench. Online Appendix for “Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques”, Morgan Kaufmann, Fourth Edition, 2016.
- GARCIA-RUIZ, F.; SANKARAN, S.; MAJA, J. M.; 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**, Gainesville, V. 91, p.106-115, 2013.
- GIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial. Disponível em: <http://QGIS.osgeo.org> Acesso em: 05 abr, 2017.
- GODOY, C.V; KOGA, L.J.; CANTERI, M.G. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, vol.31, n. p. 63-68, 2006, 2006.
- GODOY, CV.; UTIAMADA, C.M.; MEYER, M.C.; CAMPOS, H.D.; ROESE, A. D.; FORCELINI, C.A.; PIMENTA, C.B.; JACCOUD FILHO, D.S.; BORGES, E.P.; SIQUERI, F.V.; JULIATTI, F.C.; FEKSA, H.R.; GRIGOLLI, J.F.J.; NUNES JUNIOR, J.; CARNEIRO, L.C.; SILVA, L.H.C.P.; SATO, L.N.; CANTERI, M.G.; MADALOSSO, M. ITO, M.F.; MARTINS, M.C.; BALARDIN, R.S.; FURLAN, S.H.; MONTECELLI, T.D.N.; CARLIN, V.J.; BARROS, V.L.N.P.; VENANCIO, W.S. Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2012/13: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 8p. (Embrapa Soja. Circular Técnica 99).
- GÓMEZ-CANDÓN, D.; DE CASTRO, A. I.; LÓPEZ-GRANADOS, F. Assessing the accuracy of mosaics from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for precision agriculture purposes in wheat. **Precision Agriculture**, Córdoba, v. 15, p. 44-56, 2013.
- HARTMAN, G.L.; SIKORA, E.J.; RUPE, J.C. Rust. In: HARTMAN, G.L.; RUPE, J.C.; SIKORA, E.J.; DOMIER, L.L.; DAVIS, J.A.; STEFFEY, K.L. (Ed.). Compendium of soybean diseases and pests. 5. ed. Saint Paul: APS Press, 2015. p. 56-59.
- HIKISHIMA, M.; CANTERI, M. G.; GODOY, C. V.; KOGA, L.J.; SILVA, A. J. D. Quantificação de danos e relações entre severidade, medidas de Refletância e produtividade no patossistema ferrugem asiática da soja. **Tropical Plant Pathology**, Botucatu, v.35, n.2, p.96-103, abr. 2010.
- HIRANO, M.; HIKISHIMA, M.; SILVA, A. J.; SHAVIER, S.A.; CANTERI, M. G. Validação de escala diagramática para estimativa de desfolha provocada pela ferrugem asiática em soja. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.36, n.3, p.248-250, ago. 2010.
- JENSEN, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009.
- 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. 62 f. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.
- PIX4D. Software Manual Pix4D Support. Lausanne, Suíça: Pix4D AS. Disponível em: <https://www.pix4d.com/>. Acesso em: 05 Mai. 2023.
- RITCHIE, S. W.; HANWAY, Y. J.; THOMPSON, H. E.; BENSON, G. O.

- How a soybean plant develops.** Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1997.
18. SANTIAGO-CINTRA, eBee – Camera WX, Santiago e Cintra Geotecnologias, São Paulo, 2016.
19. SILVA, A. J. Da.; CANTERI, M. G.; SANTIAGO, D. C.; HIKISHIMA, M.; SILVA, A. L. Da. The reflectance in the estimate of the effect of fungicides in the control of asian soybean rust. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.35, n.1, p.53-56, 2009.
20. Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil 2014. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 268p. (Sistemas de Produção, n. 16).