

DIAGNÓSTICO DE MURCHAS VASCULARES DO FEIJOEIRO COMUM COM SENSOR HIPERESPECTRAL

ANDRESSA DE SOUZA ALMEIDA¹; **JUSTINO JOSÉ DIAS NETO**²; **WILLIAM RAFAEL RIBEIRO**²; **LAURA CRISTINA DA SILVA ALMEIDA**³; **LETÍCIA DANIELLA MARTINS PARREIRA**³; **RENATA PIRES BATISTA**³; **MÔNICA HITOMI OKURA**⁴; **ALAERSON MAIA GERALDINE**⁵; **TAVVS MICAEL ALVES**⁵; **MURILLO LOBO JUNIOR**⁶; **RÔMULO MOREIRA SILVA**²

¹Doutoranda em Agronomia. Goiânia - GO. Universidade Federal de Goiás; ²Bolsista. Santo Antônio de Goiás - GO. Embrapa Arroz e Feijão; ³Mestranda em Agronomia. Goiânia - GO. Universidade Federal de Goiás; ⁴Docente. Uberaba -MG. Universidade Federal do Triângulo Mineiro; ⁵Docente. Rio Verde -GO. Instituto Federal Goiano; ⁶Pesquisador. Santo Antônio de Goiás - GO. Embrapa Arroz e Feijão

Apresentado no
Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão e Digital - ConBAP 2024
Ribeirão Preto, SP, 25 a 27 de novembro de 2024

RESUMO

As murchas vasculares causadas pelos patógenos *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* e *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens* impactam negativamente a cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.), resultando em perdas significativas de produtividade. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficácia de um sensor hiperespectral no diagnóstico precoce de murchas vasculares e na diferenciação entre plantas saudáveis e infectadas por cada um destes patógenos. O diagnóstico precoce é crucial para antecipar medidas de manejo e minimizar a severidade das doenças. O experimento foi conduzido na Embrapa Arroz e Feijão, na safra de inverno de 2022. Foram testadas quatro cultivares de feijão tipo Carioca em 12 tratamentos (com e sem inoculação dos patógenos nas sementes), com 10 repetições em delineamento em blocos ao acaso. As imagens hiperespectrais foram capturadas no estágio fenológico V4 da cultura, antes da manifestação de sintomas visuais, utilizando o sensor hiperespectral. As imagens foram processadas para analisar a reflectância das plantas em uma faixa espectral de 400 a 1000 nm, abrangendo 271 bandas. Foi realizada uma análise de regressão ($\alpha= 0,05$) para identificar plantas saudáveis e doentes. O sensoriamento remoto foi capaz de identificar infecções pré-sintomáticas nas quatro cultivares. As assinaturas espectrais variaram entre as doenças, endossando a resistência da cultivar BRS FC402 à murcha de *Fusarium*, e a susceptibilidade da cultivar BRS Estilo. Além disso, a cultivar BRS FC310 mostrou resistência à murcha de *Curtobacterium*, ao contrário da susceptibilidade na cultivar BRSMG Madrepérola.

PALAVRAS-CHAVE: Imagem hiperespectral; Diagnose precoce; Sensoriamento remoto

ABSTRACT

Vascular wilts caused by the pathogens *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* and *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens* negatively impact common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crops, resulting in significant productivity losses. The objective of this study was to evaluate the effectiveness of a hyperspectral sensor in the early diagnosis of vascular wilts and in differentiating between healthy plants and those infected by each of these pathogens. Early diagnosis is crucial for anticipating management measures and minimizing disease severity. The experiment was conducted at Embrapa Arroz e Feijão during the winter 2022 season. Four Carioca-type bean cultivars were tested in 12 treatments (with and without pathogen inoculation in the seeds), with 10 replications in a randomized block design. Hyperspectral images were captured at the V4 phenological stage of the crop, prior to the appearance of visual symptoms, using a hyperspectral sensor. The images were processed to analyze plant reflectance within a spectral range of 400 to 1000 nm, covering 271 bands. A regression analysis ($\alpha = 0.05$) was performed to identify healthy and diseased plants. Remote sensing successfully identified pre-symptomatic infections in all four cultivars. Spectral signatures varied between the diseases, confirming the resistance of the cultivar BRS FC402 to *Fusarium* wilt

and the susceptibility of the cultivar BRS Estilo. Additionally, the cultivar BRS FC310 showed resistance to *Curtobacterium* wilt, in contrast to the susceptibility observed in the cultivar BRSMG Madrepérola.

KEYWORDS: Hyperspectral imaging ; Early diagnosis; Remote sensing

INTRODUÇÃO

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é a principal fonte de proteína vegetal no Brasil. Recentemente, a cultura ganhou destaque como alimento funcional por seus benefícios na prevenção de doenças crônicas, tornando-se essencial em dietas vegetarianas, veganas e funcionais. No entanto seu cultivo é desafiado por diversas doenças que variam sazonal e geograficamente conforme o ambiente. Um diagnóstico preciso dessas doenças é fundamental para um manejo integrado eficaz, visando minimizar perdas de produtividade e promover uma agricultura sustentável. (CARBONELL; CHIORATO; BEZERRA, 2021; WENDLAND; LOBO-JUNIOR; FARIA, 2018).

Duas murchas vasculares afetam negativamente o feijoeiro comum, pois plantas suscetíveis podem ser infectadas precocemente, perdem turgescência em especial a partir do seu florescimento e acabam morrendo. Estas doenças são causadas pelos patógenos *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens* e *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli*. Ambos os patógenos provocam murchamento irreversível das plantas e apresentam sintomas muito semelhantes, o que dificulta a identificação visual precisa das doenças. Devido à complexidade na diferenciação entre ambos os agentes causais em campo, é essencial desenvolver métodos para diagnóstico mais precisos, rápidos e confiáveis. Potencialmente, o sensoriamento remoto pode atender estas demandas e contribuir para um manejo integrado mais eficaz das murchas vasculares. Atualmente, tecnologias avançadas de análise de imagens, como sensores visíveis, hiperespectrais e multiespectrais podem viabilizar o diagnóstico de doenças antes do surgimento de sintomas e estimar a severidade das doenças das plantas, auxiliando no seu manejo e na redução de perdas na produção (BOCK et al., 2020; CHU et al., 2022; WENDLAND; LOBO-JUNIOR; FARIA, 2018).

OBJETIVOS

O objetivo deste estudo foi avaliar a eficácia de um sensor hiperespectral na diferenciação entre plantas saudáveis e doentes, além de verificar sua capacidade de diagnosticar de forma precoce murchas vasculares na cultura do feijoeiro comum.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Embrapa Arroz e Feijão. As cepas dos isolados de *F. oxysporum* f. sp. *phaseoli* e *C. flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens* empregados neste estudo pertencem à Coleção de Microrganismos e Fungos Multifuncionais da Embrapa Arroz e Feijão. Foram utilizadas sementes de quatro genótipos de feijão do tipo Carioca com 12 tratamentos (BRS Estilo, BRS FC402, BRSMG Madrepérola e BRS FC310) incluindo sementes com tratamento químico utilizadas nas bordaduras, e sementes inoculadas ou não com os patógenos e sem tratamento químico com 10 repetições dispostas em DBC, durante a safra de inverno de 2022. Os ensaios foram conduzidos com plantio em semeadura direta, sobre palhada de braquiária (*Urochloa ruziziensis*). A captura de imagens foi realizada no estágio V4 da cultura, antes do aparecimento de sintomas visuais. Para a captura de imagens hiperespectrais foi utilizado o sensor Headwall Nano-Hyperspec® acoplado em um drone DJI MATRICE™ M600 Pro (M600Pro). As imagens foram processadas para obter os valores referentes ao espectro emitido pelas plantas saudáveis e infectadas, com resultados submetidos à análise de regressão ($\alpha= 0,05$) para a identificação de plantas saudáveis e doentes a partir da medição da reflectância em uma faixa espectral de 400 a 1000 nm em 271 bandas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As assinaturas espectrais foram distintas para ambas as doenças e endossaram a resistência da cultivar BRS FC402 e a suscetibilidade da cultivar BRS Estilo (Figura 1) à murcha de *Fusarium*. Os valores mais elevados de R^2 dos modelos ajustados foram observados em 700 nm, indicando que a refletância nesse comprimento de onda é a mais relevante para diagnosticar precocemente a murcha de *Fusarium* nas cultivares suscetíveis. Não houve diferença na refletância da cultivar BRS FC402 independentemente de inoculação ou tratamento aplicado. As bandas observadas estão dentro da faixa visível do espectro eletromagnético, com o espectro de luz em 700 nm situado na faixa do vermelho, que é o limite superior da luz visível para o olho humano. Para a murcha de *Curtobacterium*, foi confirmada a resistência da BRS FC310 a *C. flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens*, enquanto a cultivar BRSMG Madrepérola mostrou suscetibilidade à doença. Os maiores R^2 dos modelos ajustados apresentaram espectros distintos: a banda no modelo de melhor ajuste observada na cultivar BRSMG Madrepérola se encontra na faixa do infravermelho, logo acima de 700 nm (Figura 2). A BRS Estilo apresentou melhor ajuste de modelo na faixa de 700 nm, enquanto a BRS FC402 mostrou diferenças entre plantas sadias e infectadas em todo o espectro visível, de 400 a 700 nm. Aos 700 nanômetros, a luz começa a se aproximar do infravermelho próximo (NIR), considerado importante em várias aplicações do sensoriamento remoto na agricultura de precisão, onde o comportamento da luz nessa banda pode fornecer informações valiosas sobre a saúde das plantas (SANTOS, 2017; JENSEN 2007; GATES et al. 1965).

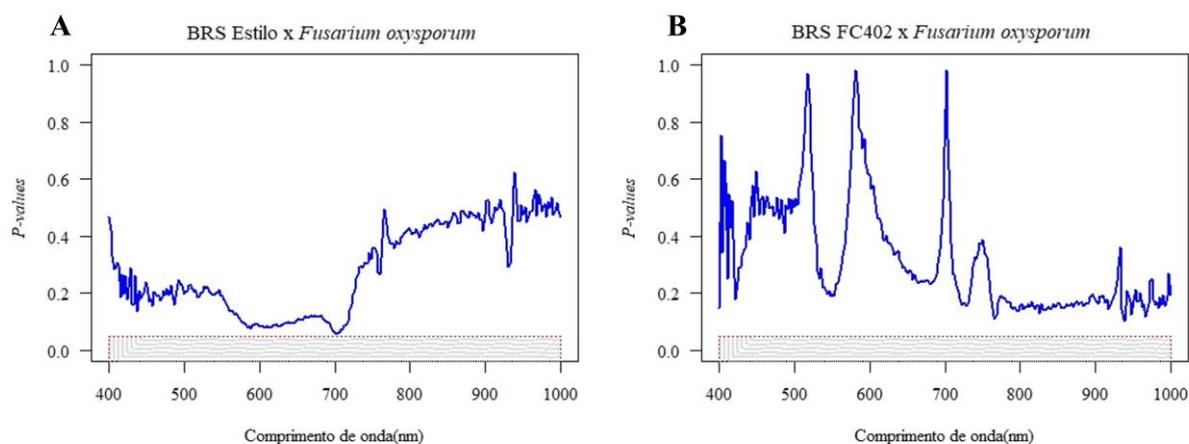


FIGURA 1. P-valores de análises de regressão comparando diferenças na resposta espectral (400 a 1000 nm) de plantas assintomáticas das cultivares de feijão BRS Estilo (A) e BRS FC402 (B), respectivamente suscetível e resistente a *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli*. A barra cinza indica significância a 5%.

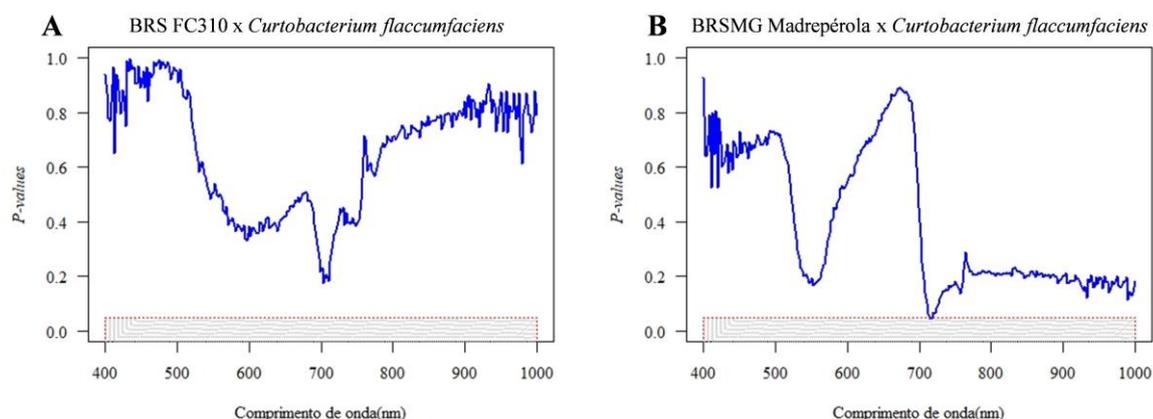


FIGURA 2. P-valores de análises de regressão comparando diferenças na resposta espectral (400 a 1000 nm) de plantas assintomáticas das cultivares de feijão BRS FC310 (A) e BRSMG Madrepérola (B), respectivamente resistente e suscetível a *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens*. A barra cinza indica significância a 5%.

CONCLUSÃO

O sensor hiperespectral foi capaz de identificar precocemente murchas vasculares nas quatro cultivares de feijão comum. As assinaturas espectrais foram diferentes para ambas as doenças, confirmando a resistência da BRS FC402 para a murcha de *Fusarium*, e a susceptibilidade da cultivar BRS Estilo. A resistência da cultivar BRS FC310 à murcha de *Curtobacterium* foi evidenciada, ao contrário da susceptibilidade da cultivar BRSMG Madrepérola.

AGRADECIMENTOS

À FAPEG, FAPED, CAPES e CNPq pelas bolsas de estudo concedidas.

REFERÊNCIAS

BOCK, C.H., BARBEDO, J.G.A., DEL PONTE, E.M. *et al.* From visual estimates to fully automated sensor-based measurements of plant disease severity: status and challenges for improving accuracy. *Phytopathol Res* **2**, 9, 2020. <https://doi.org/10.1186/s42483-020-00049-8>

CARBONELL, S. A. M.; CHIORATO, A. F.; BEZERRA, L. M. C. A planta e o grão de feijão e as formas de apresentação aos consumidores. In: FERREIRA, C. M.; BARRIGOSI, J. A. F. (ed.). Arroz e feijão: tradição e segurança alimentar. Brasília, DF: **Embrapa**; Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2021. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1134410>>

CHU, H., ZHANG, C., WANG, M., GOUDA, M., WEI, X., HE, Y., LIU, Y., Hyperspectral imaging with shallow convolutional neural networks (SCNN) predicts the early herbicide stress in wheat cultivars. *J. Hard Mater.* 421, 126706, 2022. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126706>

GATES, D.M., Keegan, H.J., Schleter, J.C., Weidner, V.R. Spectral properties of plants. **Applied Optics**, 4(1), 11-20. 1965.

JENSEN, J.R. Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective. 2nd Edition, **Pearson Prentice Hall**. 2007.

SANTOS, M. R. Desenvolvimento de um sistema de visão computacional para fenotipagem de alta precisão. 2017. 90 f. **Dissertação** (Mestrado em Computação Aplicada) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2017.

WENDLAND, A.; LOBO JUNIOR, M.; FARIA, J. C. Manual de identificação das principais doenças do feijoeiro-comum. Brasília, DF: **Embrapa**, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/192413/1/CNPAF-2018-ManIdentDoenFeijao.pdf>