

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS JABOTICABAL**

**CARACTERIZAÇÃO PATOGÊNICA, MÉTODO DE
INOCULAÇÃO, COMPORTAMENTO DIFERENCIAL DE
CULTIVARES À POKKAH BOENG E
SENSORIAMENTO REMOTO DE SINTOMAS**

**Aldo Schwalbert Trevizoli
Engenheiro agrônomo**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS JABOTICABAL**

**CARACTERIZAÇÃO PATOGÊNICA, MÉTODO DE
INOCULAÇÃO, COMPORTAMENTO DIFERENCIAL DE
CULTIVARES À POKKAH BOENG E
SENSORIAMENTO REMOTO DE SINTOMAS**

Aldo Schwalbert Trevizoli

Orientadora: Dra. Luciana Rossini Pinto

Coorientador: Dr. João Ricardo Vieira Manechini

Coorientador: Dr. Ivan Antônio dos Anjos

Dissertação apresentada à Faculdade
de Ciências Agrárias e Veterinárias –
Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como
parte das exigências para a obtenção
do título de Mestre em Agronomia
(Genética e Melhoramento de Plantas).

T814c	Trevizoli, Aldo Schwalbert Caracterização patogênica, método de inoculação, comportamento diferencial de cultivares à pokkah boeng e sensoriamento remoto de sintomas / Aldo Schwalbert Trevizoli. -- Jaboticabal, 2026 62 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal Orientadora: Luciana Rossini Pinto Coorientador: João Ricardo Vieira Manechini 1. Pokkah boeng. 2. Fusarium. 3. Cana-de-açúcar. 4. Índices vegetativos. I. Título.
-------	---

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CARACTERIZAÇÃO PATOGENICA, MÉTODO DE INOCULAÇÃO, COMPORTAMENTO DIFERENCIAL DE VARIEDADES À POKKAH BOENG E SENSORIAMENTO REMOTO DE SINTOMAS

AUTOR: ALDO SCHWALBERT TREVIZOLI

ORIENTADORA: LUCIANA ROSSINI PINTO

COORDENADOR: JOÃO RICARDO VIEIRA MANECHINI

COORDENADOR: IVAN ANTÔNIO DOS ANJOS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas), pela Comissão Examinadora:

Pesquisadora Dra. LUCIANA ROSSINI PINTO (Participação Presencial)

Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Cana / IAC - Ribeirão Preto/SP

Documento assinado digitalmente
LUCIANA ROSSINI PINTO MACHADO DA SILVA
Data: 30/07/2026 14:25:39-0300
Verifique em <https://validar.dl.gov.br>

Pesquisadora Dra. FERNANDA DIAS PEREIRA (Participação Presencial)

Croppen Consultoria Agrícola Ltda / Jaboticabal/SP

Documento assinado digitalmente
FERNANDA DIAS PEREIRA
Data: 31/07/2026 09:28:51-0300
Verifique em <https://validar.dl.gov.br>

Prof. Dr. ANTONIO DE GÓES (Participação Presencial)

Departamento de Fitossanidade / FCAV UNESP Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
ANTONIO DE GOES
Data: 02/08/2026 22:57:52-0300
Verifique em <https://validar.dl.gov.br>

Jaboticabal, 24 de julho de 2026.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Aldo Schwalbert Trevizoli – Nasceu na cidade de Jaboticabal, SP, Brasil. Filho da Sra. Simone Tereza Schwalbert Trevizoli e do Sr. Renato Trevizoli. Formado no curso de Agronomia pela Universidade Estadual de Londrina no ano de 2024. Durante a sua graduação realizou estágios na área de Fitopatologia em cana-de-açúcar pela Divisão Avançada de Pesquisa e Desenvolvimento de Cana, Instituto Agrônômico (IAC), na área de Produção de Biomassa e Agroenergia, com interface ambiental pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e na área de pesquisa e desenvolvimento na Fortgreen comercial agrícola. No ano de 2024 ingressou no curso de Mestrado em Agronomia pelo programa de Genética e Melhoramento de Plantas sob orientação da Dra. Luciana Rossini Pinto na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Jaboticabal, SP (UNESP/FCAV).

AGRADECIMENTOS

À Dra. Luciana Rossini Pinto pela ajuda e oportunidade de ingressar na pós-graduação, orientação, dedicação, atenção, paciência e ensinamentos durante o período de desenvolvimento do trabalho.

Ao Dr. Ivan Antônio dos Anjos, pelos ensinamentos e apoio durante o trabalho.

Ao Dr. João Ricardo Vieira Manechini pelos ensinamentos e gigante apoio no desenvolvimento e condução do trabalho.

Ao Dr. Laudecir Raiol Júnior pela grande ajuda com os isolados e por grandes inferências como membro da banca de qualificação.

A Dra. Luciana Souza dos Anjos pelo apoio com o trabalho de multiplicação de isolados.

Ao Prof. Dr. Dilermando Perecim pelos ensinamentos e ajuda dentro da área de estatística e análise de dados.

Ao Prof. Dr. Antônio de Góes pelo incentivo e ajuda a entrar na pós-graduação e pela ajuda na idealização do projeto.

Aos meus pais Simone Tereza Schwalbert Trevizoli e Renato Trevizoli por todo o apoio e incentivo durante todos esses anos.

À minha irmã Adele Schwalbert Trevizoli pelo apoio e companheirismo de sempre.

À minha esposa Sofia Belodi Trevizoli pelo carinho, incentivo e suporte.

Aos amigos e colegas de laboratório Lucas, Ery, Matheus, Davi, Thayná, Sabrina, Laura, Arthur e Marcelo, pela boa convivência, conversas produtivas e por tornar o processo mais leve.

Às amigas e colegas de laboratório Ana Carolina e Victória pela boa convivência e pela grande ajuda nas etapas biomoleculares.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

A todos, muito obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 A cultura da cana-de-açúcar	4
2.2 Gênero <i>Fusarium</i>	5
2.3 Pokkah boeng.....	7
2.4 Métodos de inoculação artificial em cana-de-açúcar	10
2.5 Sensoriamento remoto com uso de VANTs em cana-de-açúcar	12
3 MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.1 Cultivares de cana-de-açúcar.....	15
3.2 Isolados, conservação e identificação	15
3.3 Preparo da suspensão de conídios	16
3.4 Teste de patogenicidade dos isolados em toletes de cana-de-açúcar	18
3.5 Avaliação do teste de patogenicidade em toletes	20
3.6 Métodos de inoculação.....	21
3.7 Captura e processamento de imagens e análise de dados	24
4 RESULTADOS	27
4.1 Identificação dos isolados.....	27
4.2 Teste de patogenicidade em toletes	27
4.3 Avaliação dos métodos de inoculação	29
4.4 Teste de independência.....	30

4.5	Dados multiespectrais	34
5	DISCUSSÃO	38
6	CONCLUSÃO	47
7	REFERÊNCIAS	48

CARACTERIZAÇÃO PATOGENICA, MÉTODO DE INOCULAÇÃO, COMPORTAMENTO DIFERENCIAL DE CULTIVARES À POKKAH BOENG E SENSORIAMENTO REMOTO DE SINTOMAS

RESUMO - A cana-de-açúcar possui elevada importância econômica para a produção mundial de açúcar, etanol e bioenergia, sendo o Brasil o principal produtor global. Entre os fatores que limitam a produtividade da cultura, destacam-se as doenças causadas por fungos fitopatogênicos, dentre elas a Pokkah boeng, considerada uma enfermidade emergente em diversas regiões produtoras. A doença está associada principalmente a espécies pertencentes ao complexo *Fusarium fujikuroi species complex*, podendo causar clorose, encarquilhamento foliar, podridão do cartucho e morte do ápice das plantas, além de reduzir significativamente o teor de sacarose. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a patogenicidade de isolados de *Fusarium* spp., comparar métodos de inoculação, caracterizar a resposta de cultivares de cana-de-açúcar e identificar alterações espectrais por sensoriamento remoto em plantas inoculadas. Foram utilizados os isolados *Fusarium sacchari*, *Fusarium verticillioides* e *Fusarium proliferatum*, inoculados em cinco cultivares de cana-de-açúcar pelos métodos de imersão e injeção. Também foi realizado teste de patogenicidade em toletes destacados, além do monitoramento multiespectral do experimento por meio de VANT equipado com sensor multiespectral. Os resultados demonstraram que todos os isolados apresentaram capacidade patogênica, sendo *F. sacchari* responsável pelas maiores áreas de lesão em toletes. Para as avaliações a campo método de injeção promoveu manifestação mais rápida e consistente dos sintomas em comparação ao método de imersão. A análise de independência pelo teste do qui-quadrado indicou associação significativa entre cultivares e isolados, com destaque para a cultivar RB867515, que apresentou maior incidência da doença e *F. verticillioides* que causou maior incidência de sintomas. Na análise multiespectral, o índice NDVI apresentou maior sensibilidade na detecção de alterações fisiológicas associadas à infecção, permitindo diferenciar plantas inoculadas do tratamento controle, especialmente na cultivar RB867515. Os resultados demonstram o potencial de ferramentas de sensoriamento remoto com VANTs para estudos fitopatológicos em cana-de-açúcar.

Palavras-chave: *Saccharum*; *Fusarium*; Pokkah boeng; índices vegetativos.

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta
dissertação será
disponibilizado somente a
partir de 24/08/2027

PATHOGENIC CHARACTERIZATION, INOCULATION METHOD, DIFFERENTIAL RESPONSE OF CULTIVARS TO POKKAH BOENG, AND REMOTE SENSING OF SYMPTOMS

ABSTRACT – Sugarcane is of major economic importance for the global production of sugar, ethanol, and bioenergy, with Brazil being the world's leading producer. Among the factors limiting crop productivity, diseases caused by fungi are particularly important, among them, Pokkah boeng, which is considered an emerging disease in several sugarcane-producing regions. The disease is mainly associated with species belonging to the *Fusarium fujikuroi* species complex and may cause chlorosis, leaf distortion, spindle rot, and death of the plant apex, in addition to significantly reducing sucrose content. In this context, the present study aimed to evaluate the pathogenicity of *Fusarium* spp. isolates, compare inoculation methods, characterize the response of sugarcane cultivars, and identify spectral alterations in inoculated plants using remote sensing. The isolates *Fusarium sacchari*, *Fusarium verticillioides*, and *Fusarium proliferatum* were inoculated into five sugarcane cultivars using immersion and injection methods. A pathogenicity test was also conducted using detached sugarcane setts, and the experiment was monitored using an unmanned aerial vehicle (UAV) equipped with a multispectral sensor. The results demonstrated that all isolates were pathogenic, with *F. sacchari* producing the largest lesion areas in sugarcane setts. Under field conditions, the injection method resulted in a faster and more consistent expression of symptoms compared with the immersion method. The chi-square test of independence indicated a significant association between cultivars and isolates, with cultivar RB867515 showing the highest disease incidence and *F. verticillioides* causing the highest incidence of symptoms. In the multispectral analysis, the NDVI index showed greater sensitivity for detecting physiological alterations associated with infection, allowing differentiation between inoculated plants and the control treatment, particularly in cultivar RB867515. These results demonstrate the potential of UAV-based remote sensing tools for phytopathological studies in sugarcane.

Keywords: *Saccharum*; *Fusarium*; Pokkah boeng; vegetation index.

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas agrícolas globais, base da produção de açúcar, etanol e bioenergia. Mundialmente, a produção anual de açúcar situa-se próxima de 186–189 milhões de toneladas, concentrada sobretudo em Brasil e Índia, que lideram a oferta internacional. No Brasil, a safra 2025/26 projeta moagem em torno de 660–670 milhões de toneladas de cana, resultando em aproximadamente 45 milhões de toneladas de açúcar e cerca de 26 bilhões de litros de etanol de cana (USDA, 2025; CONAB, 2025).

São descritas mais de 200 doenças que afetam a cultura da cana-de-açúcar no mundo, muitas delas responsáveis por perdas significativas devido à ação de fungos fitopatogênicos. Entre esses, destacam-se os fungos do gênero *Fusarium*, causadores da doença Pokkah boeng, considerados um dos principais patógenos emergentes da cana-de-açúcar (Lucas et al. 2023).

A Pokkah boeng, até então doença considerada de pouca importância econômica, atualmente, é uma ameaça para o cultivo de cana-de-açúcar em regiões subtropicais, principalmente na Ásia (Tiwari, 2021; Poorniammal et al. 2024). No Brasil esta doença tem ganhado maior importância nos últimos anos, causando perdas significativas de rendimento (Carvalho et al. 2023). Além disso, também pode ocorrer uma redução significativa no teor de sacarose da cana, reduzindo o açúcar em aproximadamente 40,8-64,5% em touceiras infectadas (Nordahliawate et al. 2008). A doença é causada por espécies de *Fusarium*, com diversos trabalhos relatando *F. moniliforme*, *F. sacchari*, *F. verticillioides*, *F. fujikuroi*, *F. proliferatum* e *F. andiyazi* como algumas das espécies associadas a essa doença (Lin et al. 2014; Costa et al. 2019; Carvalho et al. 2023).

Os principais sintomas da doença incluem, clorose nas folhas jovens, encarquilhamento manchas avermelhadas e podridão na região do cartucho, o sintoma de corte em faca pode ocorrer sendo relatado em diferentes cultivares (Costa et al. 2019). Porém o maior dano à cultura ocorre quando o fungo ataca todo o ápice da planta, causando a morte, sendo identificado como um sintoma de podridão do topo.

Nas principais regiões produtoras de cana-de-açúcar do país, sabe-se que existem diferentes espécies de *Fusarium* que são possíveis causadores de doenças na cultura, porém existem poucas informações que descrevem a patogenicidade de cada uma delas. Estudos de avaliações dos níveis de resistência de genótipos de cana-de-açúcar à doença Pokkah boeng são importantes para o desenvolvimento de novas variedades e sua recomendação em regiões com alta pressão de inóculo (Wang et al. 2017; Oliveira et al., 2022). Da mesma forma, o conhecimento das interações entre genótipos e isolado é essencial para o desenvolvimento de estratégias de manejo e programas de melhoramento mais eficazes. Neste contexto, soma-se ainda a avaliação da eficiência de métodos de inoculação considerando diferentes isolados. A inoculação artificial constitui ferramenta essencial para estudos de patogenicidade, variabilidade de isolados e triagem de resistência a Pokkah boeng sob condições controladas. Métodos como inoculação por injeção (aplicação da suspensão conidial no cartucho foliar), imersão de toletes e ensaio em folhas destacadas têm sido empregados (Wang et al., 2017). A utilização de suspensões de conídios permite indução consistente de sintomas típicos e a classificação de genótipos quanto à resistência (Lin et al., 2014; Wang et al., 2017). Assim, protocolos de inoculação artificial são fundamentais para estudos visando seleção de cultivares resistentes a doença.

A utilização de veículos aéreos não tripulados (VANTs) equipados com sensores multiespectrais tem se consolidado como uma importante ferramenta para fenotipagem de alto rendimento (high-throughput phenotyping) na agricultura moderna, incluindo a cultura da cana-de-açúcar. Esses sistemas permitem a aquisição rápida, não destrutiva e em larga escala de informações relacionadas ao estado fisiológico das plantas, possibilitando avaliações espaciais e temporais mais precisas em condições de campo (Araus & Cairns, 2014; Sankaran et al., 2015). Na cultura da cana-de-açúcar, o uso de sensores embarcados em VANTs possibilita o monitoramento da refletância em diferentes comprimentos de onda, especialmente nas bandas do verde, vermelho, red-edge e infravermelho próximo (NIR), permitindo o cálculo de índices espectrais como NDVI e NDRE, amplamente empregados na detecção de alterações fisiológicas associadas a estresses bióticos e

abióticos (Tucker, 1979; Gitelson & Merzlyak, 1994; Berni et al., 2009). Diversos estudos demonstram que alterações na assinatura espectral da vegetação podem ocorrer antes mesmo da manifestação visual dos sintomas, evidenciando o potencial do sensoriamento remoto para a detecção precoce de doenças em plantas (Mahlein, 2016).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar a interação entre cultivares de cana-de-açúcar, isolados de *Fusarium* spp. e métodos de inoculação na incidência e expressão de sintomas de Pokkah boeng e detectar alterações fisiológicas por meio de índices vegetativos por sensoriamento remoto entre os tratamentos.

6 CONCLUSÃO

O teste de patogenicidade em toletes de cana-de-açúcar foi eficiente para a confirmação da atividade patogênica dos isolados, assim como demonstrar diferenças de agressividade.

Ambos os métodos de inoculação foram capazes de induzir os sintomas da doença, porém o método de injeção foi mais eficiente de modo geral.

Foi visto que a cultivar RB867515 possui maior suscetibilidade geral à doença e que o isolado *F. verticillioides* demonstrou maior expressão de sintomas em ambos os métodos de inoculação, porém foi possível identificar interações específicas entre cultivares e isolados dentro dos métodos de inoculação.

O índice vegetativo NDVI apresentou maior potencial para detectar valores que representassem alterações fisiológicas nas plantas infectadas.

Houve diferença significativa para a cultivar RB867515 sob inoculação em comparação ao controle. Dentro de isolados foi detectada diferença significativa em plantas inoculadas com *F. sacchari*, diferenciando do controle.

7 REFERÊNCIAS

- Agrios GN (2005) Plant pathology. 5 ed. Burlington: **Elsevier Academic Press**. 922 p.
- Amaral LR, Molin JP, Schepers JS (2015) Algorithm for variable-rate nitrogen application in sugarcane based on active crop canopy sensor. **Agronomy Journal** 107:1513-1523.
- Araus JL, Cairns JE (2014) Field high-throughput phenotyping: the new crop breeding frontier. **Trends in Plant Science** 19:52-61.
- Bendig J, Bolten A, Bareth G (2013) UAV-based imaging for multi-temporal, very high resolution crop surface models to monitor crop growth variability. **Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation** 2013:551-562.
- Berni JAJ, Zarco-Tejada PJ, Suárez L, Fereres E (2009) Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing** 47:722-738.
- Brown DW, Proctor RH (Eds.) (2013) *Fusarium: Genomics, Molecular and Cellular Biology*. Norfolk: **Caister Academic Press**. 182 p.
- Carvalho MRV, Veras MR, Soares DJ et al. (2023) Identification and genetic diversity of *Fusarium sacchari* associated with pokkah boeng disease of sugarcane in Northeast Brazil. **Journal of Phytopathology** 171:36-47.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2025) Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar 2025/26. Brasília.
- Costa MM, Venturini MT, Oliveira CE et al. (2019) Identification and pathogenicity of *Fusarium* species associated with pokkah boeng of sugarcane in Brazil. **Plant Pathology** 68:1350-1360.
- Daniels J, Roach BT (1987) Taxonomy and evolution. In: Heinz DJ (Ed.) *Sugarcane Improvement through Breeding*. Amsterdam: **Elsevier**, p. 7-84.
- Desjardins AE (2006) *Fusarium Mycotoxins: Chemistry, Genetics and Biology*. St. Paul: **APS Press**.
- FAOSTAT (2023) Crops and livestock products database. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Figueiredo P (2008) Breve história da cana-de-açúcar e do papel do Instituto Agrônomo no seu estabelecimento no Brasil. In: *Cana-de-açúcar*. Campinas: **Instituto Agrônomo**, p. 31-44.

Galloway JH (1989) The Sugar Cane Industry: An Historical Geography from Its Origins to 1914. Cambridge: Cambridge University Press.

Gitelson AA, Merzlyak MN (1994) Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. **Journal of Plant Physiology** 143:286-292.

Goldemberg J, Coelho ST, Guardabassi P (2008) The sustainability of ethanol production from sugarcane. **Energy Policy** 36:2086-2097.

Grivet L, Arruda P (2002) Sugarcane genomics: depicting the complex genome of an important tropical crop. **Current Opinion in Plant Biology** 5:122-127.

Khalesi F, Ahmed I, Daponte P, Picariello F, De Vito L, Tudosa I (2024) The uncertainty assessment by the Monte Carlo analysis of NDVI measurements based on multispectral UAV imagery. **Sensors** 24:2696.

Leal MRLV, Walter A, Seabra JEA (2014) Sugarcane as an energy source. **Biomass and Bioenergy** 68:5-12.

Leslie JF, Summerell BA (2006) The Fusarium Laboratory Manual. Ames: **Blackwell Publishing**.

Lin Y, Chen Y, Lin Y et al. (2014) Etiology of pokkah boeng disease of sugarcane in China. **PLoS ONE** 9:e104195.

Lucas SSG, Freitas CEG, Meneses DNDN, Freire VEB, Souza SHND, Assunção MC, Souza Junior FJC (2023) Fusariose no semiárido brasileiro: impacto e danos em culturas agrícolas. In: Avanços da pesquisa e inovação em sistemas agrícolas: conjuntura das ciências agrárias. São Paulo: **Científica Digital**, p. 21-41.

Magarey RC, Bull JI, Neilsen WA, Camilleri JR, Magnanini AJ (2004) Relating cultivar resistance to sugarcane yield using breeding selection trial analyses: orange rust and yellow spot. **Australian Journal of Experimental Agriculture** 44:1057-1064.

Mahlein AK (2016) Plant disease detection by imaging sensors – parallels and specific demands for precision agriculture and plant phenotyping. **Plant Disease** 100:241-251.

Marin FR, Jones JW, Royce F et al. (2011) Parameterization and evaluation of predictions of DSSAT/CANEGRO for Brazilian sugarcane. **Agronomy Journal** 103:304-315.

Martin JP, Abbott EV, Hughes CG (1961) Sugarcane Diseases of the World. Vol. 1. Amsterdam: **Elsevier**.

Matias FI, Caraza-Harter MV, Endelman JB (2020) FIELDimageR: An R package to analyze orthomosaic images from agricultural field trials. **The Plant Phenome Journal** 3:e20005.

Medina-Osti LE, García-Morales S, Mendoza-Elos M et al. (2022) First report of *Fusarium sacchari* causing pokkah boeng disease of sugarcane in Mexico. **Plant Disease** 106:2510.

Mendiburu F (2020) agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.3-3.

Michielse CB, Rep M (2009) Pathogen profile update: *Fusarium oxysporum*. **Molecular Plant Pathology** 10:311-324.

Ming R, Moore PH, Wu KK et al. (2006) Sugarcane improvement through breeding and biotechnology. **Plant Breeding Reviews** 27:15-118.

Mohammadi F, Nazari K, Mirabolfathy M et al. (2012) Identification and pathogenicity of *Fusarium* species associated with pokkah boeng disease of sugarcane. **Archives of Phytopathology and Plant Protection** 45:1268-1276.

Narmilan A, Gonzalez F, Salgado ASA, Powell K (2022) Detection of white leaf disease in sugarcane using machine learning techniques over UAV multispectral images. **Drones** 6:230.

Nelson PE, Toussoun TA, Marasas WFO (1983) *Fusarium* Species: An Illustrated Manual for Identification. University Park: Pennsylvania State University Press.

Nordahliawate MS, Izzati MZ, Azmi AR, Salleh B (2008) Distribution, morphological characterization and pathogenicity of *Fusarium sacchari* associated with pokkah boeng disease of sugarcane in Peninsular Malaysia. **Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science** 31.

Oliveira ES, Santos e Silva MM, Dutra AF, Melo MP, Alcântara Neto F (2022) Resistance to *Fusarium sacchari* associated with pokkah boeng in sugarcane genotypes in a semiarid environment in Brazil. **Brazilian Journal of Development** 8:33180-33188.

Oliveira RP, Barbosa Júnior MR, Pinto AA, Oliveira JLP, Zerbato C, Furlani CEA (2022) Predicting sugarcane biometric parameters by UAV multispectral images and machine learning. **Agronomy** 12:1992.

Reis Pereira, Mafalda et al. Plant disease diagnosis based on hyperspectral sensing: comparative analysis of parametric spectral vegetation indices and nonparametric Gaussian process classification approaches. **Agronomy**, v. 14, n. 3, p. 493, 2024.

Ponzoni FJ, Shimabukuro YE, Kuplich TM (2012) Sensoriamento remoto da vegetação. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos.

Poorniammal R, Jernisha J, Prabhu S, Dufossé L (2024) Sugarcane pokkah boeng disease: insights and future directions for effective management. **Life** 14:1533.

Ranjan A, Minnatullah M, Chand H, Singh SP, Dubey S (2018) Evaluation of sugarcane varieties against pokkah boeng disease and its natural occurrence. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences** 7:44-50.

Ribeiro RV, Sales CRG, Marchiori PER, Magalhães Filho JR, Machado DFSP, Silveira NM, Machado EC (2020) O metabolismo de carboidratos em cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agronômico. 83 p. (Documentos IAC, 117).

Rott P, Bailey RA, Comstock JC, Croft BJ, Saumtally AS (Eds.) (2000) A Guide to Sugarcane Diseases. Montpellier: CIRAD/ISSCT.

Sankaran S, Khot LR, Espinoza CZ et al. (2015) Low-altitude, high-resolution aerial imaging systems for row and field crop phenotyping: a review. **European Journal of Agronomy** 70:112-123.

Sanseechan P, Saengprachathanarug K, Posom J, Wongpichet S, Chea C, Wongphathi M (2019) Use of vegetation indices in monitoring sugarcane white leaf disease symptoms in sugarcane field using multispectral UAV aerial imagery. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. Bristol: IOP Publishing, v. 301, p. 012025.

Sapes, Gerard et al. Mechanistic links between physiology and spectral reflectance enable previsual detection of oak wilt and drought stress. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 121, n. 7, p. e2316164121, 2024.

Shan H, Cang X, Qin W, Li W, Wang X, Zhang R, Huang Y (2021) Resistance to pokkah boeng disease in new and main sugarcane varieties cultivated in China. **Euphytica** 217:194.

Shoaib, M., Khan, S. U., AbdelHameed, H., & Qahmash, A. (2025). Plant stress detection using multimodal imaging and machine learning: From leaf spectra to smartphone applications. **Frontiers in Plant Science**, 16, 1670593.

Simões IOPS, Amaral LR (2023) UAV-based multispectral data for sugarcane resistance phenotyping of orange and brown rust. **Smart Agricultural Technology** 4:100144.

Small C (2004) The Landsat ETM+ spectral mixing space. **Remote Sensing of Environment** 93:1-17.

Soares ACS, Anjos LOS, Ribeiro Júnior LL, Anjos IA, Goes A, Pinã VLJ et al. (2026) Molecular identification and diversity of *Fusarium* spp. associated with sugarcane in Brazil. **Plant Pathology** 75:e70168.

Summerell BA, Laurence MH, Liew ECY, Leslie JF (2010) Biogeography and phylogeography of *Fusarium*: a review. **Fungal Diversity** 44:3-13.

Terentev A, Dolzhenko V, Fedotov A, Eremenko D (2022) Current state of hyperspectral remote sensing for early plant disease detection: a review. **Remote Sensing** 14:757.

Tiwari R, Shukla SK, Jaiswal VP, Sharma L, Joshi D, Chandra K et al. (2021) Bio-control potential of *Trichoderma* spp. against *Fusarium* spp., the incitants of pokkah boeng disease of sugarcane under in vitro conditions. **Indian Phytopathology** 74:691-701.

Tucker CJ (1979) Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment** 8:127-150.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia (2026) Relatório anual do setor sucroenergético brasileiro. São Paulo.

USDA – United States Department of Agriculture (2025) Sugar: World Markets and Trade. Washington, DC.

Vishwakarma SK, Kumar P, Nigam A et al. (2013) Pokkah boeng: an emerging disease of sugarcane. **Journal of Plant Pathology and Microbiology** 4:170.

Viswanathan R, Balaji CG, Selvakumar R, Malathi P, Sundar AR, Prasanth CN, Chhabra ML, Parameswari B (2017) Epidemiology of *Fusarium* diseases in sugarcane: a new discovery of the same *Fusarium sacchari* causing two distinct diseases, wilt and pokkah boeng. **Sugar Tech** 19:638-646.

Wang, Z. P., Sun, H. J., Guo, Q., Xu, S. Q., Wang, J. H., Lin, S. H., & Zhang, M. Q. (2016). Artificial inoculation method of pokkah boeng disease of sugarcane and screening of resistant germplasm resources in subtropical China. **Sugar Tech**, 19(3), 283-292. <https://doi.org/10.1007/s12355-016-0465-7>