

COMPORTAMENTO ESPAÇO-TEMPORAL DA FUSARIOSE EM PIMENTA DO REINO E RESPOSTAS AO MANEJO SUSTENTÁVEL

Lucas Jordão Santana Tigre, Breno Benvindo dos Anjos, Fábio Ramos Alves, Matheus Ricardo Rocha, Otavio Brandão Oliosí, Simone de Paiva Caetano Bucker Moraes, Willian Bucker Moraes.

Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Alto Universitário, s/n, Guararema - 295000-000 - Alegre-ES, Brasil, lucasjst01@gmail.com, bddanjos@gmail.com, fabioramosalves@yahoo.com.br, matheus.phyto@gmail.com, oliosib07@gmail.com, simonepaivabucker@gmail.com, willian.moraes@ufes.br.

Resumo

A fusariose, causada por espécies do gênero *Fusarium*, é uma das principais doenças que afetam a pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.). Objetivou-se analisar o comportamento espaço-temporal da fusariose, considerando fatores epidemiológicos, métodos de mapeamento e análise geoestatística, bem como estratégias de manejo e controle. Foram consultadas bases científicas nacionais e internacionais, priorizando estudos publicados nos últimos seis anos, e trabalhos clássicos sobre a doença. A distribuição espacial da fusariose apresenta padrão agregado em diferentes fases do ciclo produtivo, influenciado por condições edafoclimáticas e práticas de manejo. No aspecto temporal, a evolução da doença está associada a períodos de alta umidade e temperatura favorável ao patógeno, sendo mais intensa em áreas com histórico de cultivo contínuo. O uso de ferramentas de sensoriamento remoto, modelos epidemiológicos e agentes de controle biológico é promissor no monitoramento e mitigação da doença. Conclui-se que a integração entre análises espaciais e temporais é essencial para o desenvolvimento de estratégias de manejo mais eficientes e sustentáveis para a cultura.

Palavras-chave: Análise espacial. Epidemiologia. *Fusarium* spp.. Manejo integrado. *Piper nigrum*.

Área do Conhecimento: Engenharia Agrônômica (Agronomia).

Introdução

A pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) é considerada a 'rainha das especiarias' e ocupa posição de destaque no comércio internacional de condimentos. O Brasil figura entre os maiores produtores e exportadores mundiais, com destaque para os estados do Pará e Espírito Santo, que respondem por grande parte da produção nacional (Brumat *et al.*, 2019). Segundo dados da FAO (2023), a produção global de pimenta-do-reino ultrapassa 600 mil toneladas anuais, movimentando bilhões de dólares no mercado. No entanto, a cultura enfrenta sérios desafios fitossanitários, entre eles a fusariose, causada principalmente por *Fusarium solani* f. sp. *piperis* (Reis *et al.*, 2018). Essa doença vascular afeta o sistema radicular e os vasos condutores, provocando sintomas como murcha, amarelecimento, queda de folhas e, em casos severos, morte da planta.

O impacto econômico da fusariose é expressivo, uma vez que pode levar à redução drástica da produtividade e inviabilizar áreas de cultivo por vários anos devido à persistência do patógeno no solo (Brumat *et al.*, 2020). A disseminação ocorre via solo contaminado, água de irrigação, ferramentas e mudas infectadas (Nascimento *et al.*, 2022). Dada sua relevância, compreender o comportamento espaço-temporal da doença é fundamental para implementar medidas preventivas e curativas, favorecendo a sustentabilidade e uma melhora da produção. Estudos recentes ressaltam que a interação entre fatores ambientais, manejo agrícola e características do patógeno define o padrão de ocorrência e severidade da doença (Brumat *et al.*, 2019; Yu *et al.*, 2011).

Diante do exposto, este trabalho objetivou analisar o comportamento espaço-temporal da fusariose, considerando fatores epidemiológicos, métodos de mapeamento e análise geoestatística, bem como estratégias de manejo e controle.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Metodologia

Esta revisão de literatura foi conduzida com base em artigos científicos, teses, dissertações e relatórios técnicos obtidos em bases como Scielo, ScienceDirect, Springer, MDPI, ResearchGate e Google Scholar. Os termos de busca incluíram 'fusariose', 'pimenta-do-reino', '*Fusarium* spp.', 'análise espacial', 'comportamento temporal' e 'geoestatística'. Foram priorizados trabalhos em grande maioria publicados entre 2018 e 2024, além de estudos clássicos relevantes. Os artigos selecionados foram analisados quanto à metodologia empregada, área de estudo, variáveis avaliadas e principais resultados. Foram incluídos estudos que abordaram controle biológico e químico, desde que relacionados ao monitoramento espacial e temporal da doença (Tabela 1).

Tabela 1. Principais contribuições de cada referência, permitindo comparação entre estudos.

Autor	Local do Estudo	Método Analítico	Principais Resultados
[1]	Espírito Santo, Brasil	Geoestatística, semivariograma	Padrão agregado, maior incidência em períodos chuvosos
[2]	Espírito Santo, Brasil	Índice de dispersão, análise de solo	Sem correlação com pH, MO ou nutrientes
[3]	Tocantins, Brasil	Controle biológico (<i>Trichoderma</i> spp.)	Redução de severidade e atraso da doença
[4]	China	<i>Bacillus subtilis</i> , sideróforos	Controle eficaz em pimenta-do-reino
[5]	Espírito Santo, Brasil	Modelagem epidemiológica	Mapeamento espaço-temporal da fusariose

Cada nº de autor possui link clicável para caminhamento direto as devidas referências.

Resultados

Os estudos analisados evidenciaram que a fusariose na pimenta-do-reino apresenta, em geral, um padrão espacial agregado, caracterizado por focos concentrados e expansão gradual ao longo do tempo (Tabela 2) (Brumat *et al.*, 2019; Brumat *et al.*, 2020).

Tabela 2. Valores do Índices de Dispersão (ID) calculados para a fusariose em pimenta-do-reino em quatro áreas de plantio comercial de pimenta-do-reino em São Mateus-ES.

Área de plantio	Data das Avaliações					
	Dez/15	Jan/16	Mar/16	Jul/16	Set/16	Dez/16
01	1,240*	1,334*	1,287*	1,326*	1,248*	1,194
02	1,225*	1,233*	1,147	1,216*	1,208*	1,078
03	1,045	1,045	1,008	1,091	1,095	1,132
04	1,075	1,061	1,295*	1,351*	1,364*	1,371*

(*) Indica valores significativamente superiores a 1 pelo teste do qui-quadrado. Onde, ID=1 significa distribuição ao acaso de plantas sintomáticas na área, e, ID≠1 distribuição em agregação de plantas sintomáticas na área.

Fonte: elaborado pelos próprios autores.

A aplicação de ferramentas como a Lei de Taylor modificada e índices de dispersão confirmaram a agregação dos focos, enquanto métodos geoestatísticos, como semivariogramas, indicaram dependência espacial moderada a forte (Reis *et al.*, 2018).

Nascimento, *et al.* (2022) destacaram o potencial do controle biológico, com *Trichoderma* spp., respectivamente, na redução da severidade e no atraso da progressão da fusariose. Esses resultados indicam que a adoção de biocontrole pode ser integrada a outras práticas para manejo mais eficaz.

Yu *et al.* (2011) reforça que a bactéria *Bacillus subtilis* CAS15, produtora de sideróforos, tem forte efeito de biocontrole contra o murchamento causado por *Fusarium* nas pimentas. Ela inibe o crescimento do fungo, reduz a incidência da doença em até 56,9% e promove o crescimento e

produtividade da planta. A ação é reduzida na presença de ferro, indicando que a competição por esse nutriente é um dos mecanismos de controle. Além disso, CAS15 coloniza bem as raízes, reforçando seu potencial como agente de controle biológico.

Discussão

A agregação espacial da fusariose está associada à disseminação do patógeno via solo, água de irrigação e mudas contaminadas (Reis *et al.*, 2018). O padrão espaço-temporal identificado sugere que o monitoramento regular, associado a análises geoestatísticas, pode antecipar surtos e otimizar a aplicação de medidas de controle (Brumat *et al.*, 2019). A fusariose em pimenta-do-reino tem padrão monocíclico, com maior avanço durante o período de colheita. Inicialmente, a doença se distribui de forma aleatória, mas evolui para um padrão agregado, típico de patógenos do solo. A principal forma de disseminação é por ação humana durante a colheita e pelo uso de mudas providas de materiais contaminados. Compreender essa dinâmica ajuda a direcionar medidas de controle mais eficazes (Brumat *et al.*, 2020).

O controle biológico, embora promissor, apresenta eficácia variável dependendo das condições ambientais e do estágio de desenvolvimento das plantas (Nascimento, 2022). Práticas como rotação de culturas e uso de mudas certificadas podem amenizar o impacto negativo e aumentar a eficiência das medidas de controle.

Conclusão

O estudo do comportamento espaço-temporal da fusariose em pimenta-do-reino evidencia a necessidade de adoção de estratégias de manejo que integrem o monitoramento espacial, a análise temporal e o manejo integrado da doença (MID). A aplicação adequada de ferramentas geoestatísticas, associada a inclusão de agentes biológicos e práticas culturais adequadas, pode reduzir a incidência e a severidade, contribuindo para a sustentabilidade da produção. Ntes contexto, futuras pesquisas devem priorizar a integração de dados a nível de campo e tecnologias de detecção remota, para aprimorar o manejo da fusariose.

A fusariose em pimenta-do-reino apresenta padrão monocíclico, com disseminação favorecida por práticas agrícolas durante a colheita e uso de mudas contaminadas, evidenciando a importância da ação humana na propagação da doença e sanidade da origem das mudas. A distribuição espacial evolui de aleatória para agregada ao longo do tempo. Adicionalmente, o isolado bacteriano *Bacillus subtilis* CAS15 demonstrou elevada eficácia, reduzindo significativamente a incidência da fusariose, favorecendo o crescimento e produtividade da cultura. Ambos os estudos reforçam a relevância de estratégias integradas de manejo epidemiológico e de controle biológico para a condução de cultivos sustentáveis em pimentas.

Referências

- BRUMAT, A. C. L. *et al.* Comportamento espaço-temporal da fusariose em pimenta-do-reino. *Nativa*, v. 7, n. 5, p. 586-592, 2019.
- REIS, A. *et al.* Comportamento espacial da fusariose e atributos do solo no cultivo da pimenta-do-reino. *Summa Phytopathologica*, v. 44, n. 1, p. 50-56, 2018.
- NASCIMENTO, V. C. *et al.* Trichoderma: biological control efficiency and perspectives for the Brazilian Midwest states and Tocantins. *Brazilian Journal of Biology*, v. 82, p. e260161, 2022.
- YU, Xianmei *et al.* The siderophore-producing bacterium, *Bacillus subtilis* CAS15, has a biocontrol effect on *Fusarium* wilt and promotes the growth of pepper. *European Journal of Soil Biology*, v. 47, n. 2, p. 138-145, 2011.
- BRUMAT, Ana Carolina Lyra *et al.* Spatiotemporal analysis of fusariosis in black pepper crops. *Ciência e Natura*, v. 42, p. e54-e54, 2020.

*A Ciência do **NANO** e seu impacto transformador no **MACRO***

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT statistical database. Rome, 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat>. Acesso em: 14 ago. 2025.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Epidemiologia e Manejo de Doenças de Plantas Agrícolas e Florestais (LEMP) e ao Núcleo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Manejo Fitossanitário de Pragas e Doenças (NUDEMAFI), da Universidade Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre, pela infraestrutura para realização deste estudo, e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.