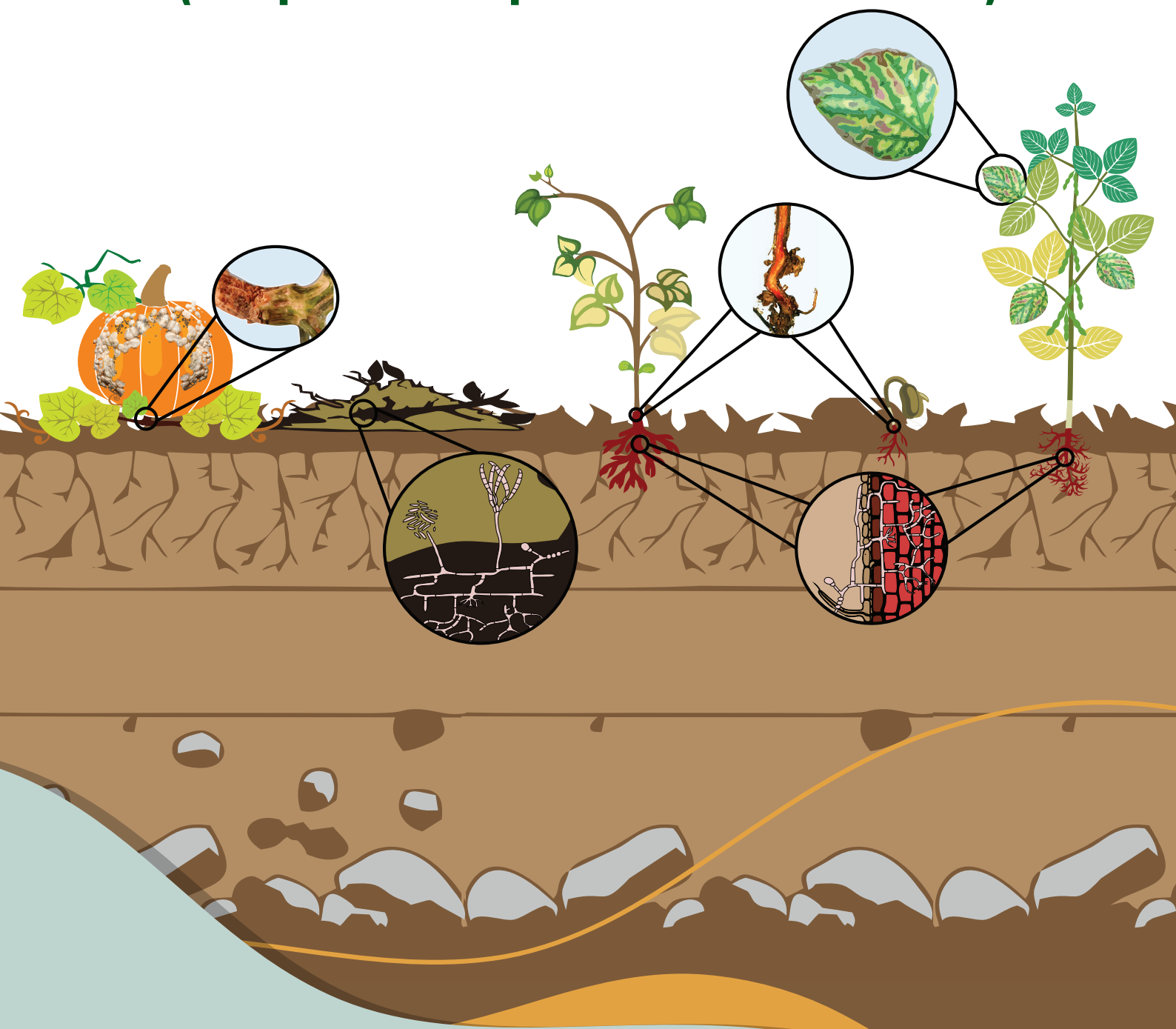


Manejo de doenças causadas por *Neocosmospora* spp. (complexo de espécies *Fusarium solani*)



Trazilbo José de Paula Júnior | Alessandro Nicoli | André Wilson Campos Rosado | Alessandro Antônio Fortunato
Emuriela da Rocha Dourado | Rogério Faria Vieira | Hudson Teixeira

**Manejo de doenças causadas
por *Neocosmospora* spp.
(complexo de espécies *Fusarium solani*)**



Governo do Estado de Minas Gerais

Romeu Zema Neto
Governador

Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Thales Almeida Pereira Fernandes
Secretário

Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG

Conselho de Administração

Nairam Félix de Barros (Presidente)
Otávio Martins Maia
Gladyston Rodrigues Carvalho
Antônio Álvaro Corsetti Purcino
Silvana Maria Novais Ferreira Ribeiro
Afonso Maria Rocha

Conselho Fiscal

Alisson Maurilio Rodrigues Santos (Presidente)
Camila Pereira de Oliveira Ribeiro
Francisco Antônio de Arruda Pinto

Diretora-Presidente

Nilda de Fátima Ferreira Soares

Diretor de Operações Técnicas

Trazilbo José de Paula Júnior

Diretor de Administração e Finanças

Leonardo Brumano Kalil





Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Governo de Minas Gerais

Manejo de doenças causadas por *Neocosmospora* spp. (complexo de espécies *Fusarium solani*)

Trazilbo José de Paula Júnior
Alessandro Nicoli
André Wilson Campos Rosado
Alessandro Antônio Fortunato
Emuriela da Rocha Dourado
Rogério Faria Vieira
Hudson Teixeira

Belo Horizonte
EPAMIG
2023



© 2023 Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG)

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida sem a autorização escrita e prévia dos autores.

CONSELHO DE PUBLICAÇÕES E INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA

Nilda de Fátima Ferreira Soares

Trazilbo José de Paula Júnior

Marcelo Ribeiro Malta

Vânia Lúcia Alves Lacerda

PRODUÇÃO

Departamento de Informação Tecnológica

Vânia Lúcia Alves Lacerda

Editora-chefe

Divisão de Produção Editorial

Fabriciano Chaves Amaral

Revisão linguística e gráfica

Rosely A. R. Battista Pereira e Maria Luiza Almeida Dias Trotta

Normalização

Dorotéia Rezende de Moraes

Programação visual

Fabriciano Chaves Amaral, Ângela Batista P. Carvalho, Débora Silva Nigri

Diagramação/formatação

Capa: *Fabriciano Chaves Amaral*

Ilustração: *Alessandro Antônio Fortunato*

Imagem abstrata: *Desenhado por Freepik*

EPAMIG Sede

www.epamig.br

Av. José Cândido da Silveira, 1.647 - União

CEP 31170-495 Belo Horizonte-MG

CNPJ (MF) 17.138.140/0001-23 - Insc. Est.: 062.150146.0047

Aquisição/Download

Livraria EPAMIG - www.livrariaepamig.com.br

(31) 3489-5002 - livraria@epamig.br

M274 Manejo de doenças causadas por *Neocosmospora* spp. (complexo de espécies *Fusarium solani*)/Trazilbo José de Paula Júnior... [et al.]. – Belo Horizonte: EPAMIG, 2023.
29 p.: il. color.; 29,7 cm

Versão: Digital

Formato: PDF

ISBN 978-65-86500-10-3

1. Fusariose. 2. Doença de planta. 3. Fungo. 4. Patógeno. I. Paula Júnior, T.J. de. II. Nicoli, A. III. Rosado, A.W.C. IV. Fortunato, A.A. V. Dourado, E. da R. VI. Vieira, R.F. VII. Teixeira, H. VIII. EPAMIG.

CDD 632.4

22.ed.



Agradecimento

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), à Universidade Federal de Viçosa (UFV) e à Universidade Federal de Roraima (UFRR), pelo suporte para o desenvolvimento de pesquisas científicas com as espécies do gênero *Neocosmospora* (complexo de espécies *Fusarium solani*).

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelas bolsas concedidas e pelo fomento aos projetos de pesquisa desenvolvidos.

Ao Departamento de Informação Tecnológica (DPIT), pelo suporte para a publicação deste livro.



Autores

Trazilbo José de Paula Júnior

Engenheiro Agrônomo, Ph.D.
EPAMIG Sede, Belo Horizonte, MG
trazilbo@epamig.br

Alessandro Nicoli

Engenheiro Agrônomo, D.Sc.
UFVJM, Unaí, MG
alessandro.nicoli@ufvjm.edu.br

André Wilson Campos Rosado

Engenheiro Agrônomo, D.Sc.
Pós-Doutorando UFV, Viçosa, MG
andre.rosado.fip@gmail.com

Alessandro Antônio Fortunato

Engenheiro Agrônomo, D.Sc.
UFRR, Boa Vista, RR
alessandro.fortunato@ufr.br

Emuriela da Rocha Dourado

Engenheira Agrônoma, M.Sc.
Doutoranda UFV, Viçosa, MG
muridourado@gmail.com

Rogério Faria Vieira

Engenheiro Agrônomo, D.Sc.
EPAMIG Sudeste, Viçosa, MG
rfvieira@epamig.br

Hudson Teixeira

Engenheiro Agrônomo, D.Sc.
EPAMIG Sul, Lavras, MG
hudsont@epamig.br



Sumário

APRESENTAÇÃO	8
INTRODUÇÃO	9
PRINCIPAIS CULTURAS HOSPEDEIRAS	9
PATÓGENO	10
SINTOMAS E CONDIÇÕES EPIDEMIOLÓGICAS	14
CICLO	17
MANEJO INTEGRADO	19
METODOLOGIAS TRADICIONAIS PARA PESQUISAS COM O PATÓGENO	21
CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
REFERÊNCIAS	24



Apresentação

A expansão da agricultura no Brasil tem sido intensa nas últimas décadas em decorrência do desenvolvimento de inúmeras tecnologias, entre as quais, aquelas relacionadas com o manejo integrado de pragas e doenças. Com a inclusão de novas áreas e épocas de plantio, tem sido observado, recorrentemente, o aumento da intensidade do ataque de patógenos que não causavam perdas relevantes anteriormente. É o caso de diversas podridões causadas por fungos habitantes do solo.

Neste livro são abordados temas relacionados com o manejo de doenças causadas por espécies do fungo *Neocosmospora*, até recentemente conhecidas como um complexo de espécies de *Fusarium solani*. Esses fungos são responsáveis por perdas relevantes em diferentes culturas agrícolas, ao causarem especialmente podridões radiculares e tombamento de plantas.

Espera-se, com esta publicação, disponibilizar aos produtores e técnicos as principais tecnologias de manejo desse patógeno.

Nilda de Fátima Ferreira Soares
Diretora-Presidente da EPAMIG



INTRODUÇÃO

O gênero *Neocosmospora* inclui fungos amplamente dispersos pelo mundo e encontrados em diferentes condições de ambiente, pertencentes ao complexo de espécies conhecido anteriormente como *Fusarium solani* e pela sigla de *Fusarium solani* species complex (FSSC) (SANDOVAL-DENIS; LOMBARD; CROUS, 2019). Em muitas publicações esses patógenos ainda são citados como *F. solani* ou pertencentes a esse complexo; no entanto, nesta publicação será feita referência ao gênero *Neocosmospora*.

Membros de *Neocosmospora* podem ocorrer na natureza como saprófitas, endófitos vegetais, patógenos de plantas e animais, inclusive de seres humanos, especialmente em pacientes imunossuprimidos ou imunocomprometidos (COLEMAN, 2016; SANDOVAL-DENIS; CROUS, 2018; SANDOVAL-DENIS; LOMBARD; CROUS, 2019). Esse gênero inclui importantes fungos fitopatogênicos e seus membros causam doenças que reduzem a produtividade de diversas culturas agrícolas, destacando-se as podridões radiculares, além da podridão de frutos e tombamento de mudas (SANDOVAL-DENIS; CROUS, 2018).

Em feijão-comum, as reduções de produtividade podem ser acima de 80%, em condições favoráveis ao desenvolvimento da podridão-radicular-seca (ABAWI; PASTOR-CORRALES, 1990; PARK; TU, 1994). Esse patógeno apresenta grande potencial para se dispersar para regiões frias com o decorrer das mudanças climáticas. Como exemplo dessa dispersão, pode-se mencionar a ocorrência da doença em feijão-comum cultivado em locais mais frios no Sul e no Sudoeste do Brasil (MACEDO *et al.*, 2017). Na cultura da soja, o patógeno causa a doença conhecida como síndrome-da-morte-súbita. As plantas de soja infectadas apresentam aborto de flores e vagens, desfolha prematura e maior proporção de sementes pequenas na colheita. Esses efeitos nas plantas podem reduzir a produtividade da soja em até 46% (HARTMAN; NOEL; GRAY, 1995). Nos Estados Unidos, Canadá, Brasil, Argentina e África do Sul, o patógeno causa perdas anuais na cultura da soja de, aproximadamente, 670 milhões de dólares (CHANG *et al.*, 2018). Quando essa doença ocorre em conjunto com o nematoide *Heterodera glycines*, as quedas na produtividade são ainda maiores (WRATHER; KOENNING, 2006). Em outras culturas também têm sido reportadas perdas relevantes causadas por *Neocosmospora* spp., como na pimenta-do-reino (TREMACOLDI, 2010), ervilha (BASU *et al.*, 1976) e batata (SAMET *et al.*, 2018). Portanto, esses fungos são motivo de preocupação, tanto por causa das reduções de produtividade, como por causa da capacidade saprofítica, que pode mantê-lo indefinidamente nas áreas de cultivo.

PRINCIPAIS CULTURAS HOSPEDEIRAS

Alguns membros do gênero *Neocosmospora* são fitopatógenos importantes e possuem ampla gama de hospedeiros, com relatos da ocorrência em mais de 100 famílias de plantas e em aproximadamente 500 hospedeiros (COLEMAN, 2016; SANDOVAL-DENIS; LOMBARD; CROUS, 2019; FARR; ROSSMAN, 2022; MENDES; URBEN, 2022; USDA, 2022).



Anteriormente, acreditava-se que esses fungos desenvolvessem apenas em hospedeiros específicos (BOOTH, 1971), e muitas raças fisiológicas foram subdivididas em *formae speciales* – *batatas*, *cucurbitae*, *eumartii*, *glycines*, *mori*, *phaseoli*, *piperis*, *pisi*, *radicicola*, *robiniae* e *xanthoxyli* – dentro da espécie *F. solani*.

Pesquisas realizadas com técnicas moleculares e análises filogenéticas revelaram que as *formae speciales* correspondem a espécies distintas (O'DONNELL, 2000; SUGA *et al.*, 2000; COLEMAN, 2016). No Brasil, espécies de *Neocosmospora* foram relatadas em abacaxi, algodão, alho, amendoim, arroz, aspargo, banana-da-terra, batata, beterraba, café (*Coffea arabica* e *C. canephora*), caju, caruru-azedo, cebola, cenoura, cheflera, crisântemo, cucurbitáceas, ervilha, feijão-comum, feijão-de-corda, feijão-fava, grão-de-bico, hibiscos, malva, mamão, mamona, mandioca, maracujá, milho, pepino, pimenta-do-reino, pimentão, quiabo, seringueira, soja, sorgo, taro, tomate, trigo e videira (RICHARDSON, 1990; GONÇALVES; BARRETO, 2001; CORREIA *et al.*, 2013; CABRAL *et al.*, 2016; COLEMAN, 2016; BELAN *et al.*, 2018; FARR; ROSSMAN, 2022; MENDES; URBEN, 2022; USDA, 2022).

PATÓGENO

Membros do gênero *Neocosmospora* pertencem à família Nectriaceae (Ordem: Hypocreales, Subclasse: Hypocreomycetidae, Classe: Sordariomycetes, Subfilo: Pezizomycotina, Filo: Ascomycota, Reino: Fungi) e, apesar de serem morfológicamente similares, são diferenciados por análises filogenéticas (O'DONNELL, 2000; COLEMAN, 2016; AOKI *et al.*, 2018; ŠIŠIĆ *et al.*, 2018).

Esses fungos eram anteriormente incluídos no complexo de espécies *F. solani*, FSSC (O'DONNELL, 2000). Entretanto, o relacionamento filogenético do grupo foi revisto, e as espécies pertencentes ao FSSC foram reclassificadas ou sinonimizadas para o gênero *Neocosmospora* (SANDOVAL-DENIS; CROUS, 2018; SANDOVAL-DENIS; LOMBARD; CROUS, 2019). *Neocosmospora* é um grupo monofilético que exibe características ecológicas e morfológicas únicas (SANDOVAL-DENIS; CROUS, 2018; CROUS *et al.*, 2021).

A título de exemplo, as espécies relatadas no feijoeiro são *Neocosmospora falciformis* (syn. *Fusarium falciforme*), *N. kurunegalensis*, *N. martii* (*F. martii* e *F. solani* var. *martii*), *N. phaseoli* (*F. brasiliense*, *F. cuneirostrum*, *F. phaseoli* e *F. solani* f. sp. *phaseoli*), *N. solani* (*F. solani*) e *N. vasinfecta* (FARR; ROSSMAN, 2022; USDA, 2022). Já na soja, as espécies relatadas são *N. falciformis* (*F. falciforme* e *F. paranaense*), *N. phaseoli* (*F. brasiliense*, *F. crassistipitatum*, *F. cuneirostrum*, *F. solani* f. sp. *glycines*, *F. solani* f. sp. *phaseoli* e *F. virguliforme*), *N. phaseoli* (*F. phaseoli* e *F. tucumaniae*), *N. pisi* (*F. solani* f. sp. *pisi*), *N. solani* (*F. solani*) e *N. vasinfecta* (*F. tracheiphilum*) (FARR; ROSSMAN, 2022; USDA, 2022).

Em meio batata-dextrose-ágar (BDA), as colônias geralmente apresentam micélio aéreo esparsos de coloração branca a creme; e os isolados não produzem pigmentos em meio de cultura, embora alguns possam produzir pigmentos violetas ou marrons (LESLIE;



SUMMERELL, 2006). Segundo estes autores, a caracterização morfológica baseia-se nas estruturas dos fungos cultivados, principalmente em meio de cultura com pedaços de folhas de cravo autoclavados – Carnation Leaf-Piece Agar (CLA).

Os conidióforos são eretos, arrançados em esporodóquios. Estes esporodóquios, frequentemente produzidos em abundância, são de coloração creme, azul ou esverdeada, sendo que, os de cor creme geralmente produzem mais macroconídios que os demais (LESLIE; SUMMERELL, 2006).

Os macroconídios são hialinos, fusiformes, com extremidades arredondadas, numerosos, com 3 a 7 septos (LESLIE; SUMMERELL, 2006). Os microconídios são hialinos, ovais, oblongos, elipsoides, reniformes ou fusiformes, não septados (com um ou, ocasionalmente, dois septos), abundantes, formados em monofálides longas e finas, em falsas cabeças (LESLIE; SUMMERELL, 2006). De acordo com esses autores, esse tipo de monofálide é o principal marcador morfológico para diferenciar *Neocosmospora* (*F. solani*) de *F. oxysporum*. A monofálide é um tipo de célula conidiogênica que possui apenas um locus conidiogênico, no qual os microconídios são produzidos (KIRK *et al.*, 2008).

Os clamidósporos são globosos a ovais, lisos ou rugosos, e abundantes; podem ser formados intercaladamente nas hifas ou terminalmente em ramos laterais curtos, individualizados, em pares ou ocasionalmente em cadeias curtas (LESLIE; SUMMERELL, 2006).

Em geral, as formas sexuais não são formadas em meios de cultura. A reprodução sexuada é conhecida em apenas um terço das espécies descritas de *Neocosmospora*, as quais são principalmente táxons fitopatogênicos (SANDOVAL-DENIS; CROUS, 2018). Alguns isolados podem formar peritécios avermelhados ou alaranjados em CLA (LESLIE; SUMMERELL, 2006). Os ascos são unitunicados, com 4 a 8 ascósporos. Estes são hialinos, oblongos, elipsoides ou fusiforme-elípticos, com ornamentação estriada, não septados ou com um septo (O'DONNELL, 2000; COVERT *et al.*, 2007; COSTA *et al.*, 2016).

Geralmente, esses fungos são cultivados em meio líquido para a extração de DNA, com posterior sequenciamento e utilização das sequências em estudos de diversidade genética molecular. Apesar da região internal transcribed spacer (ITS) – espaçador interno transcrito ser considerada o código de barras de DNA dos fungos, o RNA polymerase's second largest subunit (RPB2) – segunda subunidade da RNA polimerase II é o principal gene para identificar com precisão todas as espécies de *Neocosmospora* (SANDOVAL-DENIS; CROUS, 2018; CROUS *et al.*, 2021). Um segundo marcador que resulta em clados com moderados a altos suportes é o translation elongation factor 1-alpha (TEF1- α) (SANDOVAL-DENIS; CROUS, 2018). Assim, a identificação desses patógenos, em nível de espécie, deve ser realizada usando sequências de RPB2 e TEF1- α e compará-las com sequências de referência, que tenham a curadoria de especialistas, depositadas em bancos de dados reconhecidos, como o FUSARIOID-ID database¹ (SANDOVAL-DENIS; CROUS, 2018).

Na Figura 1, as sequências de 123 isolados, obtidas do formato GenBank², foram

¹<https://www.fusarium.org>.

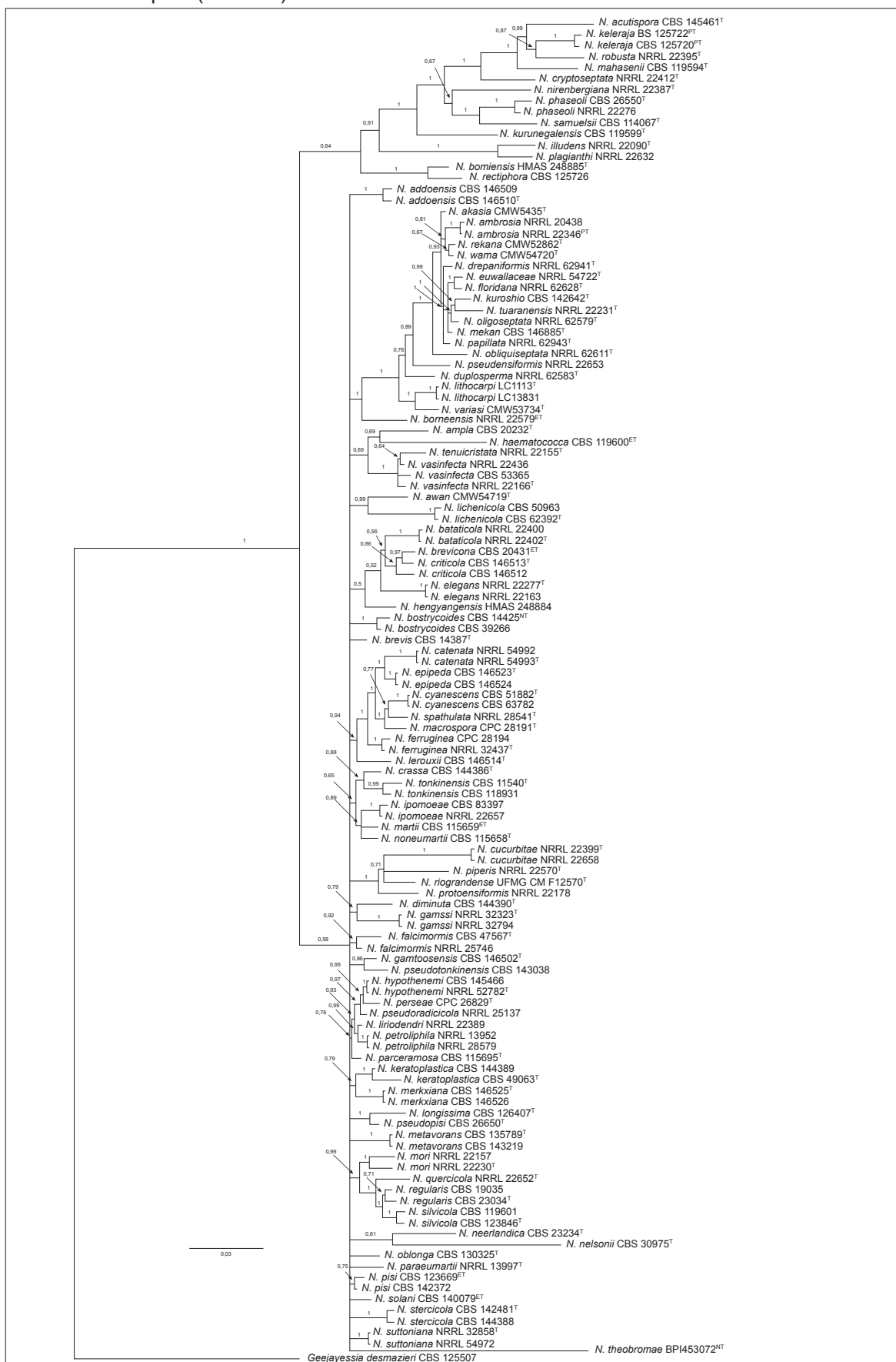
²<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank>.



baixadas no formato FASTA e alinhadas utilizando o algoritmo MUSCLE do Programa MEGA11. O GTR+I+G foi selecionado como modelo de substituição de nucleotídeos para ambos os genes por meio do MrModeltest 2.3. As análises de Inferência Bayesiana foram realizadas utilizando o método Markov Chain Monte Carlo (MCMC) no MrBayes v.3.2.7a. Dois conjuntos de quatro cadeias de MCMC foram executados simultaneamente, a partir de árvores aleatórias, por 10 milhões de gerações. As árvores foram amostradas a cada mil gerações e as primeiras 2.500 árvores foram descartadas. Os valores de probabilidade posterior foram determinados a partir da árvore consenso, que foi gerada das árvores restantes, e estão indicados próximos dos nós. O desvio-padrão médio foi inferior a 0,01 no final da análise. A barra de escala representa o número esperado de alterações por local. Os isolados tipos ou isolados de referência das espécies estão indicados com um “T”, “PT”, “ET” ou “NT”, após o código do isolado. A árvore foi enraizada com *Geejayessia desmazieri* CBS 125507.



Figura 1 - Árvore filogenética obtida por Inferência Bayesiana com base em sequências concatenadas dos genes RNA polymerase's second largest subunit (RPB2) – segunda subunidade da RNA polimerase II e translation elongation factor 1-alpha (TEF1-α)



Fonte: Dados básicos: GenBank (2021).

Elaboração dos autores Emuriela da Rocha Dourado e André Wilson Campos Rosado.

Nota: “T”, “PT”, “ET” e “NT” - Isolados tipos ou isolados de referência.



SINTOMAS E CONDIÇÕES EPIDEMIOLÓGICAS

Os sintomas causados por *Neocosmospora* spp. dependem da cultura hospedeira (Fig. 2 e 3). No feijoeiro, os sintomas são lesões longitudinais no hipocótilo e no sistema radicular, estreitas e avermelhadas, que se tornam marrons com fissuras longitudinais, isso reflete em clorose na parte aérea das plantas, em desfolha prematura e em número reduzido de vagens (ABAWI; PASTOR-CORRALES, 1990).

Os sintomas da síndrome-da-morte-súbita, em soja, têm início na raiz principal, como uma mancha avermelhada, que se expande para todo o sistema radicular; depois evolui para necrose e podridão, com descoloração vascular acastanhada entre a raiz principal e a base da haste da planta. No início, sintomas foliares de mosaico podem ocorrer. Nas folhas são observados os sintomas denominados “carijó”, manchas cloróticas nas nervuras e necrose foliar. As folhas também podem ficar ligeiramente deformadas; e as severamente infectadas podem-se destacar do pecíolo (HARTMAN; CHANG; LEANDRO, 2015).

A podridão-radicular, em ervilha, é caracterizada pelas lesões de coloração castanho-avermelhada-escura na região do sistema radicular, hipocótilo e epicótilo. Como consequência, as folhas ficam amareladas e as mais baixas apresentam necrose, o que resulta em atrofiamento do crescimento ou morte das plantas (KRAFT, 2001).

Na pimenta-do-reino, o patógeno coloniza o sistema radicular e causa podridão que se estende para o caule, sobre a superfície do solo, provocando o escurecimento dos vasos. Consequentemente, ocorrem o amarelecimento e a queda das folhas e dos internódios, além de seca dos ramos. Quando a planta morre, alguns ramos secos permanecem nos tutores (VENTURA; COSTA, 2004).

Em cucurbitáceas, o patógeno causa necrose e podridão no sistema radicular, no colo e nos frutos, que podem murchar e secar (MEHL; EPSTEIN, 2007; GÓMEZ *et al.*, 2014).

Na batata, a colonização ocorre nas raízes e nos tubérculos, com sintomas de podridão seca e deprimida, que avança para a mumificação dos tubérculos (ROMBERG; DAVIS, 2007).

De modo geral, as condições que mais favorecem o aumento de severidade das doenças causadas por *Neocosmospora* spp. nas diferentes culturas são o excesso de umidade, a compactação e o baixo pH do solo, os plantios adensados, as rotações de culturas inadequadas, as temperaturas amenas e a interação com outros patógenos habitantes de solo (ABAWI; PASTOR-CORRALES, 1990; KRAFT, 2001; XING; WESTPHAL, 2006; HARTMAN *et al.*, 2015). Solos compactados dificultam a penetração e o desenvolvimento das raízes, o que as torna mais expostas ao patógeno (BURKE; MILLER, 1983; MILLER; BURKE, 1985).

Áreas irrigadas ou com precipitações pluviais altas contribuem para o aumento da severidade da doença, como observado em soja (LEANDRO *et al.*, 2013). Os sintomas da síndrome-da-morte-súbita também podem ser mais severos na presença de *H. glycines* (XING; WESTPHAL, 2006; WRATHER; KOENNING, 2006). No feijoeiro também são relatadas interações com outros patógenos habitantes de solo, como *Pythium ultimum* e *Rhizoctonia solani*, o que reflete em maior severidade da doença (PIECZARKA; ABAWI,



1978; TOLÊDO-SOUZA *et al.*, 2009). A podridão-das-raízes (fusariose), em pimenta-do-reino, é muito favorecida por períodos chuvosos, pois a alta umidade relativa (UR) do ar facilita a dispersão do patógeno e a ocorrência do processo infeccioso, como acontece na região Amazônica que é constantemente úmida (MOREIRA *et al.*, 2017).

Figura 2 - Sintomas da síndrome-da-morte-súbita em soja e da podridão-radicular-seca em feijão-comum causados por *Neocosmospora*



Fotos: A e D - Daniel Lage. Fotos: B e C - Alessandro Antônio Fortunato. Fotos: E, F, G e H - Alessandro Nicoli

Nota: A a D - Sintomas da doença em soja; E a H - Sintomas da doença em feijão-comum.

Figura 3 - Sintomas de podridão causados por *Neocosmospora* em pimenta-do-reino e em batata



Fotos: A, B, C e D - Marcelo Barreto da Silva. Foto: E - Carlos Alberto Lopes

Nota: A a D - Sintomas da podridão-das-raízes (fusariose) em pimenta-do-reino; E - Sintomas da podridão em batata.

CICLO

O ciclo das relações patógeno-hospedeiro referente aos membros do gênero *Neocosmospora* pode ser visualizado na Figura 4. De maneira geral, a principal forma de sobrevivência desses fungos (Fig. 4A) ocorre por meio da formação de clamidósporos no solo (Fig. 4 - cd e A3) como estruturas de resistência. Também são produzidos os macroconídios (em arranjo tipo esporodóquio) e os microconídios (Fig. 4 - A3) nos micélios presentes nos restos de cultura e matéria orgânica (MO) do solo. Essas estruturas são as fontes de inóculo do patógeno no campo, responsáveis portanto pela infecção primária do sistema radicular dos hospedeiros (Fig. 4A - A1 e A2).

O patógeno pode sobreviver por muitos anos na forma de clamidósporos. No caso particular da doença em soja, as espécies, como *N. phaseoli*, podem sobreviver na forma de clamidósporos em cistos de *H. glycines*.

A disseminação do patógeno (Fig. 4B) pode ocorrer por sementes (feijão, soja, ervilha, cucurbitáceas), mudas (pimenta-do-reino) e tubérculos (batata). Também pode haver disseminação pela água (enxurrada, inundação e irrigação) e pelo deslocamento de solo infestado por meio de implementos agrícolas.

A germinação dos clamidósporos (Fig. 4C) presentes no solo infestado (Fig. 4C - C1) é estimulada por exsudatos radiculares (Fig. 4C - C2). Após a germinação e a produção do micélio, inicia-se o processo de penetração do fungo na raiz e/ou no hipocótilo (Fig. 4D), que pode ser de forma direta ou por lesões mecânicas e aberturas naturais.

Com o estabelecimento da relação parasitária estável (infecção), o patógeno produz enzimas e toxinas que viabilizam a colonização dos tecidos do córtex (Fig. 4E), inicialmente de forma intercelular e, em seguida, intracelular. Após múltiplas infecções nos espaços intercelulares, as células tornam-se senescentes ou degradadas e, conseqüentemente, o fungo entra no seu interior e nos tecidos decompostos. Por fim, destrói a região dos feixes vasculares, especialmente os ductos xilemáticos, o que compromete a absorção de água e de nutrientes.

Como consequência do progresso da doença surgem os sintomas (Fig. 4F), como a podridão-das-raízes e do hipocótilo, além dos sintomas reflexos na parte aérea. Geralmente, os sintomas iniciais surgem em torno de uma a duas semanas após o plantio e consistem em lesões longitudinais estreitas com coloração vermelha na superfície do hipocótilo (Fig. 4F - F2, F5 e F6) e da raiz principal (Fig. 4F - F1, F2, F6 e F7). As partes doentes, gradualmente, tornam-se marrons e apresentam fissuras longitudinais, frequentemente desenvolvem-se nas lesões mais velhas (Fig. 4F - F2 e F6). Com o aumento da severidade da doença, as raízes secundárias também são afetadas. Finalmente, a podridão do sistema radicular estende-se até a superfície do solo.

Diante da destruição radicular, plantas doentes podem manifestar sintomas de murcha em horas quentes do dia. Em casos severos, como em feijão, ervilha e soja, os danos no sistema radicular podem resultar em clorose e desfolha precoce das plantas. Em soja, a infecção também pode resultar na ocorrência de necrose internerval acentuada, sintoma esse conhecido como folha “carijó” (Fig. 4F - F3), que geralmente ocorre no



estágio R4 do ciclo de vida da cultura. No caso da batata, além dos danos causados nas raízes, o patógeno pode causar podridão dos tubérculos, o que os torna inviáveis para a comercialização (Fig. 4F - F4).

Ao término do ciclo de vida da cultura, o fungo forma microconídios, macroconídios e clamidósporos em plantas mortas (Fig. 4A) ou em restos de culturas. Essas estruturas do fungo permitem a sua sobrevivência no campo e/ou a sua dispersão para iniciar novas infecções (ABAWI; PASTOR-CORRALES, 1990; VENTURA; COSTA, 2004; LESLIE; SUMMERELL, 2006; D'IPPÓLITO *et al.*, 2010; BEDENDO, 2011; HARTMAN; CHANG; LEANDRO, 2015).

Figura 4 - Modelo geral do ciclo das relações patógeno-hospedeiro referente a espécies de *Neocosmospora* (complexo de espécies *Fusarium solani*)

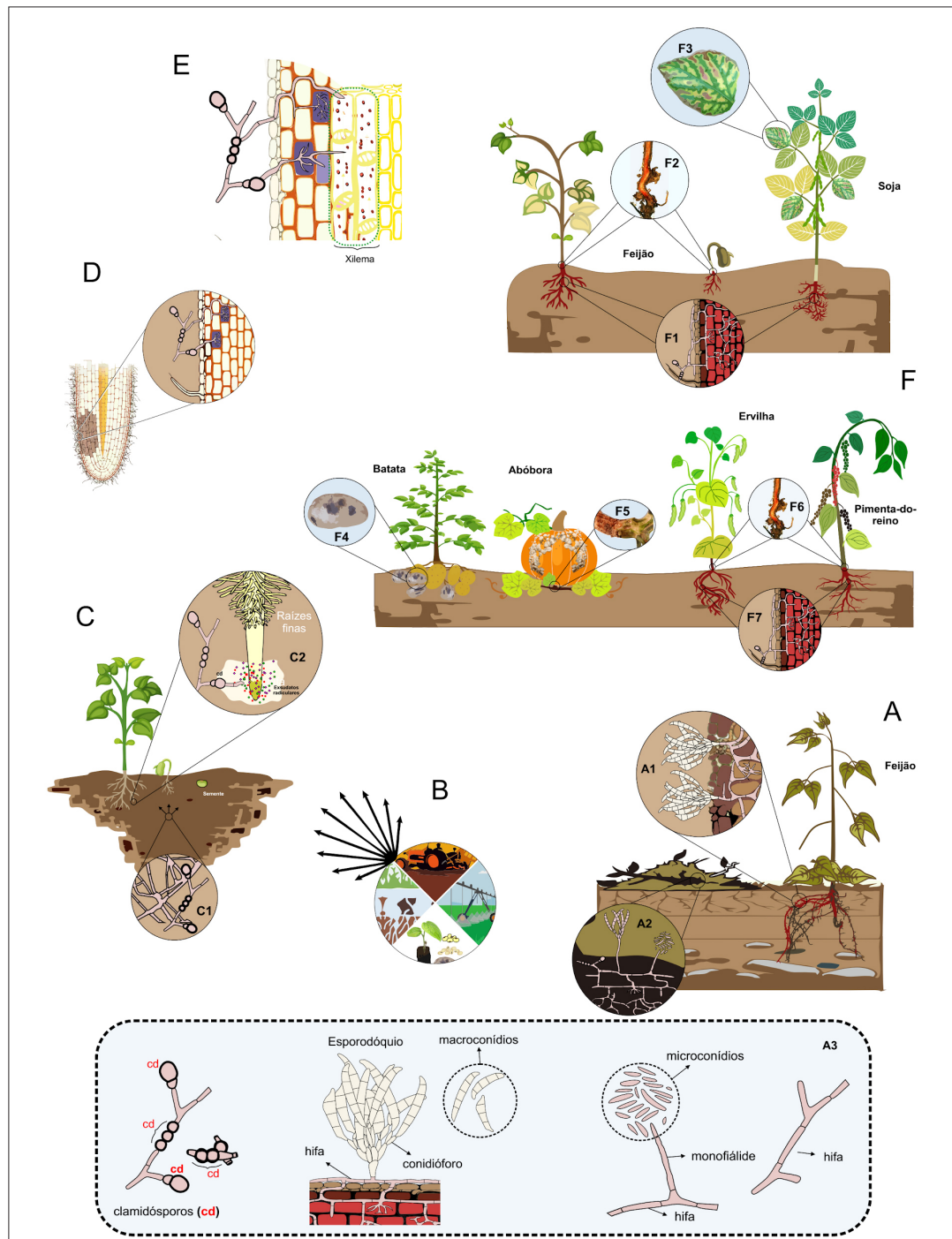


Ilustração: Alessandro Antônio Fortunato

MANEJO INTEGRADO

O manejo das doenças causadas por espécies de *Neocosmospora* deve ser realizado por meio da integração das diversas medidas de controle (cultural, físico, biológico, genético e químico), para evitar a entrada do patógeno na área, reduzir sua população e/ou desfavorecer o seu desenvolvimento.

Em geral, as medidas culturais mais recomendadas são: usar material propagativo sadio; escolher áreas sem histórico do patógeno; fazer rotação com culturas não hospedeiras; fazer a descompactação, a drenagem e a correção do pH do solo; controlar outros patógenos habitantes de solo, como *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Phytophthora* e *H. glycines*; e evitar o trânsito de máquinas vindas de áreas infestadas (ABAWI; PASTOR-CORRALES, 1990; TOLÊDO-SOUZA *et al.*, 2009; HARTMAN; CHANG; LEANDRO, 2015). Paula Júnior *et al.* (2015) sugerem ainda o uso de semeadura rasa para acelerar a emergência das plântulas.

A rotação de culturas é uma das medidas mais eficientes. O uso de cereais, como milho, milheto, sorgo e espécies de *Urochloa* (syn. *Brachiaria*) em rotação com o feijoeiro, reduz as populações do patógeno no campo e aumenta a supressividade do solo (ABAWI; PASTOR-CORRALES, 1990; BERNI; SILVEIRA; COSTA, 2002; TOLÊDO-SOUZA *et al.*, 2008; TEIXEIRA *et al.*, 2015). Em estudo realizado em área de plantio de feijão com histórico de *N. phaseoli*, Teixeira *et al.* (2015) quantificaram a população desse patógeno após o cultivo com cereais e leguminosas. Esse estudo sugeriu que a população do patógeno foi quase eliminada após 9 meses de cultivo com milho e milheto, e 11 meses, com *Urochloa decumbens* (syn. *Brachiaria decumbens*). Esse resultado indica que a rotação de culturas com gramíneas pode ser eficaz no manejo da podridão-radicular-seca. No manejo da síndrome-da-morte-súbita na soja, a rotação de culturas é recomendada com trigo, aveia, milho ou sorgo (HARTMAN; CHANG; LEANDRO, 2015).

Por se tratar de cultura perene, uma medida eficiente no manejo da pimenta-do-reino é o uso de mudas sadias, obtidas de matrizes livres da doença e com boas características de vigor vegetativo e de enraizamento. Também deve-se evitar a presença do patógeno nos substratos de plantio e na água de irrigação. Outras medidas para impedir a entrada do patógeno na área de cultivo ou para eliminá-lo logo que constatado são: evitar o cultivo em áreas vizinhas de outros pimentais, desinfestar tutores e eliminar plantas sintomáticas da lavoura (VENTURA; COSTA, 2004).

Na cultura da batata, além das medidas mencionadas anteriormente, devem-se evitar estresses hídricos no campo e ferimentos dos tubérculos na colheita e no armazenamento.

O controle físico, por meio da solarização do solo, também pode ser utilizado no manejo de doenças causadas por *Neocosmospora* spp., como em cucurbitáceas. Em abobrinha, pesquisa com *N. cucurbitae* indicou que o uso da solarização ou biossolarização do solo pode reduzir drasticamente a população do fungo (PÉREZ-HERNÁNDEZ; PORCEL-RODRÍGUEZ; GÓMEZ-VÁZQUEZ, 2017).

O controle biológico também é eficaz no manejo das doenças causadas por espécies de *Neocosmospora*, como no caso da podridão-radicular-seca em feijoeiro (PAULA



JÚNIOR *et al.*, 2017). Em 2008, o controle biológico de doenças teve um marco histórico no Brasil, justamente com a cultura do feijoeiro – nesse ano, foi feito o registro do primeiro fungicida biológico no País, o Trichodermil, pela empresa Itaforte Bioprodutos Ltda., para o controle de *Fusarium* spp. (PAULA JÚNIOR *et al.*, 2017). Atualmente, há muitos produtos comerciais registrados no Brasil à base de *Trichoderma* (*T. asperellum*, *T. harzianum*, etc.) para uso no tratamento de sementes ou para aplicação no solo, logo após a semeadura (PAULA JÚNIOR *et al.*, 2017, 2019; BRASIL, 2021). Em feijoeiro, Teixeira *et al.* (2012) demonstraram que o uso de produtos comerciais à base de espécies de *Trichoderma*, no tratamento de sementes ou distribuído no sulco de plantio, foi tão eficiente quanto o fungicida Fludioxonil para o controle da podridão-radicular-seca. Nesse estudo, o controle biológico proporcionou maior porcentagem de emergência de plântulas que o fungicida. Outros estudos também relatam bons resultados no controle biológico dessa doença do feijoeiro com *T. harzianum* (ABEYSINGHE, 2007) e *T. atroviridae* (TOGHUEO *et al.*, 2016). Nesses dois estudos, observaram-se redução no crescimento micelial e germinação de esporos do patógeno, na incidência e na severidade da doença, e também no maior crescimento das plantas. Na soja, produtos comerciais à base de *T. asperellum* são recomendados para uso após a semeadura (BRASIL, 2021). Kim e Knudsen (2013) verificaram que *T. harzianum* reduziu a população de *N. pisi* e, consequentemente, a colonização de raízes de plantas de ervilha.

O controle genético é o método com mais vantagens práticas, econômicas e ambientais para o manejo das doenças causadas por *Neocosmospora* spp. Em feijão, são exemplos de genótipos com resistência à podridão-radicular-seca: FR-266 (SCHNEIDER; KELLY, 2000), A-300 (TU; PARK, 1993; NICOLI *et al.*, 2012), Avanti, Newport, N203 (SCHNEIDER; KELLY, 2000), T-39 (SCHNEIDER; KELLY, 2000; BILGI *et al.*, 2008), VAX, Eclipse (BILGI *et al.*, 2008), MLB-49-89A, MLB-48-89, RWR719, Vuninkingi (MUKANKUSI *et al.*, 2011), RR6950 (HAGERTY *et al.*, 2015), Puebla 152 (NAKEDDE *et al.*, 2016). No Brasil, uma linhagem que apresenta resistência a essa doença é o RP-1 (NICOLI *et al.*, 2012), recentemente recomendada como cultivar BRSMG Uai, de grãos do tipo comercial Carioca. Várias outras linhagens de feijão têm sido identificadas com resistência similar a do genótipo A-300, referência de resistência à doença (NICOLI *et al.*, 2012). Pesquisadores identificaram quantitative trait loci (QTL) associados à resistência à podridão-radicular-seca em feijoeiro (HAGERTY *et al.*, 2015; NAKEDDE *et al.*, 2016; WANG *et al.*, 2018).

Genótipos de soja resistentes à síndrome-da-morte-súbita também têm sido identificados, bem como vários QTL e marcadores single nucleotide polymorphism (SNP) associados à resistência (CHANG *et al.*, 2018). Alguns desses genótipos usados em programa de melhoramento são: Forrest, Pyramid, Hartwig, Ripley, MD96-5722, PI 438489B, LS98-0582, MN1606SP, PI 520733, 567374, 567315, 567441C, 567650B, 567664, 507531 e LS97-1610 (HARTMAN; CHANG; LEANDRO, 2015; CHANG *et al.*, 2018). Dez loci estão associados à resistência a essa doença (CHANG *et al.*, 2018).



A cultivar de pimenta-do-reino, conhecida como Cingapura ou Kuching, é considerada tolerante à podridão-das-raízes (fusariose), provavelmente em razão da produção de compostos fenólicos como resposta de defesa a *N. piperis* (LUZ *et al.*, 2017).

Em ervilha, os genótipos PI 125673, PI 175226, Melrose, Granger, PI 271119, PI 198735, PI 226561, PI 125839, PI 223285, PI 184128, PI 227258, PI 257593, PS 05300234, Whistler e Carneval não apresentaram redução significativa na altura e no peso seco das plantas quando infectadas pelo patógeno (BODAH *et al.*, 2016).

A cultivar de batata Spunta tem-se destacado por apresentar menor severidade à infecção causada por *N. solani*, quando comparada com outras cultivares (D'IPPÓLITO *et al.*, 2010).

O controle químico de *Neocosmospora* spp. geralmente é realizado por meio do tratamento de sementes de feijão, de soja e batata-semente com fungicidas registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (BRASIL, 2021). Em cucurbitáceas, como abobrinha, pesquisa mostrou a eficiência de fungicidas, aplicados na base do caule das plantas, para o controle do patógeno (PÉREZ-HERNÁNDEZ; PORCEL-RODRÍGUEZ; GÓMEZ-VÁZQUEZ, 2017).

METODOLOGIAS TRADICIONAIS PARA PESQUISAS COM O PATÓGENO

Os isolados de *Neocosmospora* podem ser obtidos de plantas com sintomas típicos da doença, como nos casos de podridão-radicular, de forma indireta, em meio de cultura semisseletivo Peptona-PCNB-Ágar (PPA) (NASH; SNYDER, 1962; PAPAVIDAS, 1967) ou BDA. Para isso, as partes do sistema radicular e hipocótilo infectadas são lavadas em água corrente. A partir de então, pequenos fragmentos das margens de transição, entre o tecido infectado e o assintomático, são destacados e mergulhados em álcool 70% por 30 segundos e, em seguida, em hipoclorito de sódio (NaClO) 1% por 1 a 3 minutos. Após essas etapas, os fragmentos são lavados três vezes em água autoclavada, secados em ambiente estéril sobre papel autoclavado, e distribuídos em placas de Petri contendo o meio de cultura previamente preparado. Após o crescimento da colônia do fungo, pode ser feita a repicagem para outras placas de Petri contendo meio de cultura.

O armazenamento do patógeno pode ser realizado de diferentes maneiras: em papel filtro, em sílica gel ou em solo a 4 °C ou a -20 °C, além do congelamento de suspensões de esporos em glicerol 15% a -70 °C, ou em nitrogênio (N) líquido (LESLIE; SUMMERELL, 2006).

O isolamento direto também pode ser utilizado. Nesse caso, as raízes são lavadas e deixadas em condições que favorecem a esporulação do patógeno, e os conídios são transferidos para o meio de cultura, com vistas à obtenção da cultura pura pelo método de diluição (SCANDIANI *et al.*, 2011).

A produção de inóculo dos patógenos é feita com o objetivo de realizar-se a inoculação de esporos, sejam microconídios, macroconídios ou clamidósporos.



Para a produção de esporos, os meios de cultura mais utilizados são BDA e CLA, que também podem ser usados na forma líquida (ABAWI; PASTOR-CORRALES, 1990). Os esporos são utilizados para a inoculação de sementes e raízes ou para a colonização de grãos de sorgo e de palitos de madeira que serão usados na inoculação das plantas por punção.

A produção de inóculo em grãos de sorgo é feita do seguinte modo: os grãos são autoclavados e adicionados em tubos de ensaio ou frascos de Erlenmeyer. Em seguida, os discos de micélio do patógeno são colocados em contato com os grãos de sorgo nos tubos e incubados por duas semanas para a colonização e para o crescimento fúngico (HARTMAN *et al.*, 1997; HUANG; HARTMAN, 1998).

Para a produção de clamidósporos, um dos métodos recomendados é o do extrato de solo. Nesse método, o solo coletado é misturado com água destilada na proporção de 1:2 e autoclavado durante 30 minutos. Em seguida, a suspensão obtida é filtrada para obter o extrato líquido do solo. Esse extrato é autoclavado e, após serem inseridos discos do meio de cultura com micélio do fungo, obtêm-se o crescimento do micélio e a formação da massa fúngica após 20 a 30 dias de incubação sob agitação. Posteriormente, o micélio desenvolvido é misturado e homogeneizado com areia esterilizada. É realizada então a contagem dos clamidósporos pelo método de diluição em série, utilizando-se o meio de cultura semisseletivo PPA. Após essa etapa, é calculada a concentração de clamidósporos/g de solo. Essa suspensão com concentração conhecida é utilizada para a inoculação das plantas (ZAMBOLIM; SCHENCK; MITCHELL, 1983; NICOLI *et al.*, 2012; NICOLI *et al.*, 2013).

A inoculação de espécies de *Neocosmospora* na planta pode ser realizada com diferentes metodologias, dependendo da cultura hospedeira. São metodologias de inoculação desses fungos em plantas: imersão das raízes em suspensão de esporos, imersão das sementes em inóculo, utilização de grãos de sorgo colonizados pelo patógeno, inserção de palitos de madeira colonizados nos tecidos das plantas, aplicação de suspensão de esporos ao redor do hipocótilo, distribuição de camada de inóculo abaixo das sementes e mistura de clamidósporos do patógeno em solo antes do plantio.

A imersão das raízes das plantas em suspensão de esporos é o método mais utilizado. Geralmente, faz-se a semeadura e, após o desenvolvimento do primeiro par de folhas, é realizada a inoculação das plantas. Para tal, as plantas são removidas do substrato e o sistema radicular é lavado em água esterilizada e cortado em torno de 1/3 do comprimento. Em seguida, o sistema radicular é mergulhado em suspensão de esporos do patógeno (10^6 conídios/mL) durante 5 minutos. Logo após, as plantas são transplantadas para vasos com solo e cultivadas por três a quatro semanas para a quantificação da doença (PASTOR-CORRALES; ABAWI, 1987).

Em ervilha, geralmente é utilizada a inoculação por meio da imersão das sementes em suspensão de esporos. Nesse caso, as sementes ficam por 16 horas imersas na suspensão antes da semeadura (BODAH *et al.*, 2016).



Quando se utilizam grãos de sorgo colonizados pelo patógeno, inicialmente o solo/substrato é preparado em vasos, onde esses são inseridos, e cobertos por uma camada de solo de aproximadamente 2 cm. Em seguida, é realizada a semeadura (HARTMAN *et al.*, 1997; HUANG; HARTMAN, 1998).

A inoculação com palitos de madeira, geralmente, é feita do seguinte modo: os palitos são fervidos em água e autoclavados, em seguida, são colocados por 15 dias em placas de Petri contendo micélio do fungo produzido em meio de cultura. Depois são introduzidos no hipocótilo das plantas de soja, por exemplo, aproximadamente 7 dias após o plantio (DAP) (SCANDIANI *et al.*, 2011).

A suspensão de esporos (10^6 conídios/mL) pode ser aplicada ao redor do hipocótilo da planta (em torno de 1 mL). Do mesmo modo, a cultura fúngica pode ser inserida no substrato, e coberta com uma fina camada deste, a partir daí, realiza-se a semeadura.

No método com inoculação de clamidósporos, pode ser utilizada a concentração de 4-5 mil clamidósporos/g de solo ou substrato (NICOLI *et al.*, 2012, 2013).

Além dessas metodologias, também podem ser utilizados solos com histórico de infestação pelo patógeno, conhecidos como berçários (*nursery*) para o plantio de materiais e posterior avaliação da intensidade da doença.

Em geral, a quantificação das doenças causadas por *Neocosmospora* spp. é realizada entre três e quatro semanas após a inoculação, por meio de escalas de notas padronizadas para cada cultura.

Uma escala de notas muito utilizada para a quantificação da podridão-radicular-seca em feijoeiro foi desenvolvida por Abawi e Pastor-Corrales (1990), em que: 1 = nenhum sintoma visível; 3 = descoloração leve e sem lesões necróticas, com o máximo de 10% dos tecidos radiculares e hipocótilo lesionados; 5 = aproximadamente 25% dos tecidos radiculares e hipocótilo lesionados, com pequenos danos no sistema radicular e tecidos ainda firmes; 7 = aproximadamente 50% dos tecidos radiculares e hipocótilo lesionados, e com o sistema radicular consideravelmente danificado e reduzido, podendo apresentar estruturas do patógeno; 9 = aproximadamente 75% ou mais dos tecidos radiculares e hipocótilo lesionados, e com o sistema radicular reduzido e bem danificado, além do extensivo crescimento do patógeno.

A síndrome-da-morte-súbita, em soja, tem sido geralmente avaliada pela seguinte escala: 1 = plantas sem sintomas; 2 = poucos sintomas e até 20% da área foliar com manchas e mosaico; 3 = sintomas moderados com clorose nas nervuras e necrose de 21% a 50% das folhas; 4 = sintomas muito desenvolvidos com 51% a 80% da área foliar afetada; 5 = clorose severa nas nervuras e necrose foliar entre 81% a 100% (HARTMAN *et al.*, 1997; HUANG; HARTMAN, 1998). Outras escalas também têm sido adaptadas e usadas para a avaliação dessa doença, considerando os sintomas foliares (NJITI *et al.*, 1996; CHAWLA *et al.*, 2013). Uma escala para a avaliação dos sintomas nas raízes também pode ser utilizada, analisando desde a ausência completa de sintomas na raiz principal até o desenvolvimento severo das lesões (BAO *et al.*, 2015).

A podridão-radicular, em ervilha, pode ser quantificada pela seguinte escala de notas:



0 = ausência de sintomas; 1 = pequenas lesões no hipocótilo; 2 = lesões coalescidas ao redor do epicótilo e hipocótilo; 3 = lesões começando a se espalhar no sistema radicular, com algumas infecções na raiz; 4 = epicótilo, hipocótilo e sistema radicular quase completamente infectados; 5 = raízes completamente infectadas; 6 = falha na emergência das plantas (BODAH *et al.*, 2016).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vários estudos e desafios são necessários para a continuidade dos avanços e descobertas relacionadas a espécies do gênero *Neocosmospora*, por exemplo:

- a) interação molecular entre patógeno e hospedeiro;
- b) seleção e desenvolvimento de cultivares resistentes a espécies específicas do complexo;
- c) identificação de genes de resistência e marcadores moleculares associados, com vistas à aplicação em seleção assistida por marcadores;
- d) desenvolvimento de cultivares transgênicas, resistentes a espécies de *Neocosmospora*;
- e) identificação e uso de porta-enxertos resistentes em hortaliças e em pimentado-reino;
- f) identificação de novos antagonistas e produtos comerciais para o controle biológico;
- g) desenvolvimento de novas moléculas de fungicidas para o tratamento de sementes, mudas e tubérculos.

REFERÊNCIAS

ABAWI, G.S.; PASTOR-CORRALES, M.A. **Root rots of beans in Latin America and Africa: diagnosis, research methodologies, and management strategies.** Cali: CIAT, [1990]. 114p. (CIAT Publication, 35).

ABEYSINGHE, S. Biological control of *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* the causal agent of root rot of bean using *Bacillus subtilis* CA32 and *Trichoderma harzianum*. RU01. **Ruhuna Journal of Science**, v.2, p.82-88, Sept. 2007.

AOKI, T. *et al.* *Fusarium oligoseptatum* sp. nov., a mycosymbiont of the ambrosia beetle *Euwallacea validus* in the Eastern U.S. and typification of *F. ambrosium*. **Fungal Systematics and Evolution**, v.1, p.23-39, Jun. 2018.

BAO, Y. *et al.* Association mapping and genomic prediction for resistance to sudden death syndrome in early maturing soybean germplasm. **Molecular Breeding**, v.35, n.6, 128, 2015.

BASU, P.K. *et al.* Yield loss conversion factors for *Fusarium* root rot of pea. **Canadian Plant Disease Survey**, v.56, p.25-32, 1976.



- BEDENDO, I.P. Podridões de raiz e colo. In: AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN-FILHO, A. (ed.). **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. 4.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2011. v.1, p.443-449.
- BELAN, L.L. *et al.* First report of *Fusarium* species associated with Fusarium wilt in *Coffea canephora* plants in Brazil. **Plant Disease**, v.102, n.9, p.1859, Sept. 2018.
- BERNI, R.F.; SILVEIRA, P.M. da; COSTA, J.L. da S. Influência do preparo de solo e da rotação de culturas na severidade de podridões radiculares no feijoeiro comum. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.32, n.2, p.69-74, 2002.
- BILGI, V.N. *et al.* Response of dry bean genotypes to Fusarium root rot, caused by *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*, under field and controlled conditions. **Plant Disease**, v.92, n.8, p.1197-1200, Aug. 2008.
- BODAH, E.T. *et al.* Evaluation of pea accessions and commercial cultivars for fusarium root rot resistance. **Euphytica**, v.208, n.1, p.63-72, 2016.
- BOOTH, C. **The Genus *Fusarium***. Kew: Commonwealth Mycological Institute, 1971. 237p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **AGROFIT - Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários**. Brasília, DF: MAPA, 2021. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 20 out. 2022.
- BURKE, D.W.; MILLER, D.E. Control of Fusarium root rot with resistant beans and cultural management. **Plant Disease**, v.67, n.12, p.1312-1317, Dec. 1983.
- CABRAL, C.S. *et al.* A root rot of chickpea caused by isolates of the *Fusarium solani* species complex in Brazil. **Plant Disease**, v.100, n.10, p.2171, Oct. 2016.
- CHANG, H.-X. *et al.* Integration of sudden death syndrome resistance loci in the soybean genome. **Theoretical and Applied Genetics**, v.131, n.4, p.757-773, Apr. 2018.
- CHAWLA, S. *et al.* A public program to evaluate commercial soybean cultivars for pathogen and pest resistance. **Plant Disease**, v.97, n.5, p.568-578, May 2013.
- COLEMAN, J.J. The *Fusarium solani* species complex: ubiquitous pathogens of agricultural importance. **Molecular Plant Pathology**, v.17, n.2, p.146-158, Feb. 2016.
- CORREIA, K.C. *et al.* First report of Stem rot of papaya caused by *Fusarium solani* species complex in Brazil. **Plant Disease**, v.97, n.1, p.140, Jan. 2013.
- COSTA, S.S. *et al.* *Fusarium paranaense* sp. nov., a member of the *Fusarium solani* species complex causes root rot on soybean in Brazil. **Fungal Biology**, v.120, n.1, p.51-60, Jan. 2016.
- COVERT, S.F. *et al.* Sexual reproduction in the soybean sudden death syndrome pathogen *Fusarium tucumaniae*. **Fungal Genetics and Biology**, v.44, n.8, p.799-807, 2007.
- CROUS, P.W. *et al.* *Fusarium*: more than a node or a foot-shaped basal cell. **Studies in Mycology**, v.98, 2021.
- D'IPPÓLITO, S. *et al.* Transcriptome profiling of *Fusarium solani* f. sp. *eumartii* - in-



- fected potato tubers provides evidence of an inducible defense response. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v.75, n.1/2, p.3-12, Dec. 2010.
- FARR, D.F.; ROSSMAN, A.Y. **Fungal Databases**: U.S. National Fungus Collections. Beltsville: USDA-ARS, 2022. Disponível em: <https://nt.ars-grin.gov/fungaldatabases/>. Acesso em: 11 nov. 2022
- GÓMEZ, J. et al. *Fusarium solani* f. sp. *cucurbitae*, affecting melon in Almería Province, Spain. **Australasian Plant Disease Notes**, v.9, n.1, article 136, Dec. 2014.
- GONÇALVES, R.C.; BARRETO, R.W. Root and stem rot of *Schefflera arboricola* in Brazil, caused by *Fusarium solani*. **Plant Pathology**, v.50, n.6, p.794, Dec. 2001. New Disease Reports.
- HAGERTY, C.H. et al. Mapping *Fusarium solani* and *Aphanomyces euteiches* root rot resistance and root architecture quantitative trait loci in common bean. **Crop Science**, v.55, n.5, p.1969-1977, Sept./Oct. 2015.
- HARTMAN, G.L.; CHANG, H.-X.; LEANDRO, L.F. Research advances and management of soybean sudden death syndrome. **Crop Protection**, v.73, p.60-66, July 2015.
- HARTMAN, G.L.; NOEL, G.R.; GRAY, L.E. Occurrence of soybean sudden death syndrome in East-Central Illinois and associated yield losses. **Plant Disease**, v.79, n.3, p.314-318, Mar. 1995.
- HARTMAN, G.L. et al. Germplasm evaluation of *Glycine max* for resistance to *Fusarium solani*, the causal organism of sudden death syndrome. **Plant Disease**, v.81, n.5, p.515-518, May 1997.
- HUANG, Y.H.; HARTMAN, G.L. Reaction of selected soybean genotypes to isolates of *Fusarium solani* f. sp. *glycines* and their culture filtrates. **Plant Disease**, v.82, n.9, p.999-1002, Sept. 1998.
- KIM, T.G.; KNUDSEN, G.R. Relationship between the biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* and the phytopathogenic fungus *Fusarium solani* f. sp. *pisi*. **Applied Soil Ecology**, v.68, p.57-60, 2013.
- KIRK, P.M. et al. (ed.) **Dictionary of the fungi**. 10th ed. Wallingford: CABI, 2008. 784p.
- KRAFT, J.M. *Fusarium* root rot. In: KRAFT J.M.; PFLEGER, F.L. (ed.). **Compendium of pea diseases and pests**. 2nd ed. St. Paul: American Phytopathological Society, 2001. p.13-14.
- LEANDRO, L.F.S. et al. Climatic and environmental trends observed during epidemic and non-epidemic years of soybean sudden death syndrome in Iowa. **Plant Health Progress**, v.14, n.1, 2013.
- LESLIE, J.F.; SUMMERELL, B.A. (ed.). **The *Fusarium* laboratory manual**. Ames: Blackwell Publishing, 2006. 420p.
- LUZ, S.F.M. da et al. Secondary metabolic profiles of two cultivars of *Piper nigrum* (black pepper) resulting from infection by *Fusarium solani* f. sp. *piperis*. **International Journal of Molecular Science**, v.18, n.12, 2434, 2017.



- MACEDO, R. *et al.* Potential worldwide distribution of *Fusarium* dry root rot in common beans based on the optimal environment for disease occurrence. **Plos One**, v.12, n.11, e0187770, 2017.
- MEHL, H.L.; EPSTEIN, L. Identification of *Fusarium solani* f. sp. *cucurbitae* race 1 and race 2 with PCR and production of disease-free pumpkin seeds. **Plant Disease**, v.91, n.10, p.1288-1292, Oct. 2007.
- MENDES, M.A.S.; URBEN, A.F. **Fungos relatados em plantas no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia-Laboratório de Quarentena Vegetal, [2022]. Banco de dados. Disponível em: <http://pragawall.cenargen.embrapa.br/aiqweb/michtml/fgbanco01.asp>. Acesso em: 11 nov. 2022.
- MILLER, D.E.; BURKE, D.W. Effects of low soil oxygen on *Fusarium* root rot of beans with respect to seedling age and soil temperature. **Plant Disease**, v.69, n.4, p.328-330, Apr. 1985.
- MOREIRA, E.C.O. *et al.* Transcriptional profiling by RNA sequencing of black pepper (*Piper nigrum* L.) roots infected by *Fusarium solani* f. sp. *piperis*. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.39, n.10, article 239, 2017.
- MUKANKUSI, C.M. *et al.* Genetic analysis of resistance to *Fusarium* root rot in common bean. **Euphytica**, v.182, n.11, p.11-23, 2011.
- NAKEDDE, T. *et al.* Mapping of QTL associated with *Fusarium* root rot resistance and root architecture traits in black beans. **Euphytica**, v.212, n.1, p.51-63, 2016.
- NASH, S.M.; SNYDER, W.C. Quantitative estimations by plate counts of propagules of the bean root rot *Fusarium* in fields soils. **Phytopathology**, v.52, n.6, p.567-572, 1962.
- NICOLI, A. *et al.* Chlamyospore concentration for assessment of *Fusarium* root rot on common bean. **Tropical Plant Pathology**, v.38, n.2, p.149-151, Mar./Apr. 2013.
- NICOLI, A. *et al.* Resistance of advanced common bean lines to *Fusarium* root rot. **Tropical Plant Pathology**, v.37, n.6, p.393-398, Nov./Dec. 2012.
- NJITI, V.N. *et al.* Soybean response to sudden death syndrome: inheritance influenced by cyst nematode resistance in Pyramid x Douglas progenies. **Crop Science**, v.36, n.5, p.1165-1170, Sept./Oct. 1996.
- O'DONNELL, K. Molecular phylogeny of the *Nectria haematococca* - *Fusarium solani* species complex. **Mycologia**, v.92, n.5, p.919-938, Sept./Oct., 2000.
- PAPAVIZAS, G.C. Evaluation of various media and antimicrobial agents for isolation of *Fusarium* from soil. **Phytopathology**, v.57, n.8, p.848-852, 1967.
- PARK, S.J.; TU, J.C. Genetic segregation of root rot resistance in dry bean crosses. **Annals of the Bean Improvement Cooperative**, v.37, p.229-230, 1994.
- PASTOR-CORRALES, M.A.; ABAWI, G.S. Reactions of selected bean germplasms to infection by *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli*. **Plant Disease**, v.71, n.11, p.990-993, Nov. 1987.
- PAULA JÚNIOR, T.J. de *et al.* Controle biológico de doenças do feijoeiro. **Informe Agropecuário**. Inovações tecnológicas para a produção de feijão, Belo Horizonte, v.38, n.298, p.52-60, 2017.



PAULA JÚNIOR, T.J. de et al. Doenças do feijoeiro: estratégias integradas de manejo. In: CARNEIRO, J.E. de S.; PAULA JÚNIOR, T.J. de; BORÉM, A. (ed.). **Feijão: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2015. p.270-299.

PAULA JÚNIOR, T.J. de et al. Uso de *Trichoderma* no controle de doenças de plantas. **Informe Agropecuário**. Tecnologias para o manejo sustentável de pragas e doenças, Belo Horizonte, v.40, n.305, p.74-80, 2019.

PÉREZ-HERNÁNDEZ, A.; PORCEL-RODRÍGUEZ, E.; GÓMEZ-VÁZQUEZ, J. Survival of *Fusarium solani* f. sp. *cucurbitae* and fungicide application, soil solarization, and biosolarization for control of crown and foot rot of zucchini squash. **Plant Disease**, v.101, n.8, p.1507-1514, Aug. 2017.

PIECZARKA, D.J.; ABAWI, G.S. Effect of interaction between *Fusarium*, *Pythium*, and *Rhizoctonia* on severity of bean root rot. **Phytopathology**, v.68, p.403-408, 1978.

RICHARDSON, M.J. **An annotated list of seed-borne diseases**. 4th ed. Wallisellen: ISTA, 1990. 387p.

ROMBERG, M.K.; DAVIS, R.M. Host range and phylogeny of *Fusarium solani* f. sp. *eumartii* from potato and tomato in California. **Plant Disease**, v.91, n.5, p.585-592, May 2007.

SAMET, M. et al. Effect of compost tea containing phosphogypsum on potato plant growth and protection against *Fusarium solani* infection. **Environmental Science and Pollution Research**, v.25, n.19, p.18921-18937, July 2018.

SANDOVAL-DENIS, M.; CROUS, P.W. Removing chaos from confusion: assigning names to common human and animal pathogens in *Neocosmospora*. **Persoonia: molecular phylogeny and evolution of fungi**, v.41, p.109-129, Dec. 2018.

SANDOVAL-DENIS, M.; LOMBARD, L.; CROUS, P.W. Back to the roots: a reappraisal of *Neocosmospora*. **Persoonia: molecular phylogeny and evolution of fungi**, v.43, p.90-185, 2019.

SCANDIANI, M.M. et al. Comparison of inoculation methods for characterizing relative aggressiveness of two soybean sudden-death syndrome pathogens, *Fusarium virguliforme* and *F. tucumaniae*. **Tropical Plant Pathology**, v.36, n.3, p.133-140, May/June 2011.

SCHNEIDER, K.A.; KELLY, J.D. A Greenhouse screening protocol for *Fusarium* root rot in bean. **HortScience**, v.35, n.6, p.1095-1098, Oct. 2000.

ŠIŠIĆ, A. et al. Two new species of the *Fusarium solani* species complex isolated from compost and hibiscus (*Hibiscus* sp.). **Antonie Van Leeuwenhoek**, v.111, n.10, p.1785-1805, 2018.

SUGA, H. et al. Phylogenetic analysis of the phytopathogenic fungus *Fusarium solani* based on the rDNA-ITS region. **Mycological Research**, v.104, n.10, p.1175-1183, Oct. 2000.

TEIXEIRA, H. et al. Seasonal dynamics of soil-borne inoculum and severity of *Fusarium* root rot of common beans affected by sequential planting of legume or cereal crops. **Tro-**



pical Plant Pathology, v.40, n.5, p.335-338, 2015.

TEIXEIRA, H. *et al.* *Trichoderma* spp. decrease *Fusarium* root rot in common bean. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.38, n.4, p.334-336, Oct./Dec. 2012.

TOGHUEO, R.M.K. *et al.* Biocontrol and growth enhancement potential of two endophytic *Trichoderma* spp. from *Terminalia catappa* against the causative agent of Common Bean Root Rot (*Fusarium solani*). **Biological Control**, v.96, p.8-20, May 2016.

TOLÊDO-SOUZA, E.D. *et al.* Interações entre *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* e *Rhizoctonia solani* na severidade da podridão radicular do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.39, n.1, p.13-17, jan./mar. 2009.

TOLÊDO-SOUZA, E.D. *et al.* Sistemas de cultivo, sucessões de culturas, densidade do solo e sobrevivência de patógenos de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.43, n.8, p.971-978, ago. 2008.

TREMACOLDI, C.R. **Principais doenças fúngicas da pimenteira-do-reino no estado do Pará e recomendações de controle**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2010. 23p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 367).

TU, J.C.; PARK, S.J. Root-rot resistance in common bean. **Canadian Journal of Plant Science**, v.73, n.1, p.365-367, Jan. 1993.

USDA. Agricultural Research Service. **Fungal database**: U.S. National Fungus Collections. Beltsville: USDA, 2022. Disponível em: <https://nt.ars-grin.gov/fungaldatabases/>. Acesso em: 11 nov. 2022.

VENTURA, J.A.; COSTA, H. **Manejo da fusariose da pimenta-do-reino no estado do Espírito Santo**. Vitória: INCAPER, 2004. 20p. (INCAPER. Documentos, 131).

WANG, W. *et al.* QTL analysis of *Fusarium* root rot resistance in an Andean x Middle American common bean RIL population. **Crop Science**, v.58, n.3 p.1166-1180, May-June, 2018.

WRATHER, J.A.; KOENNING, S.R. Estimates of disease effects on soybean yields in the United States 2003 to 2005. **The Journal of Nematology**, v.38, n.2, p.173-180, Jun. 2006.

XING, L.; WESTPHAL, A. Interaction of *Fusarium solani* f. sp. *glycines* and *Heterodera glycines* in sudden death syndrome of soybean. **Phytopathology**, v.96, n.7, p.763-770, 2006.

ZAMBOLIM, L.; SCHENCK, N.C.; MITCHELL, D.J. Inoculum density, pathogenicity, and interactions of soybean root-infecting fungi. **Phytopathology**, v.73, n.10, p.1398-1402, 1983.



Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Av. José Cândido da Silveira, 1.647 - União
CEP 31170-495 Belo Horizonte - MG
www.epamig.br - (31) 3489-5000



AGRICULTURA,
PECUÁRIA E
ABASTECIMENTO



**MINAS
GERAIS**

GOVERNO
DIFERENTE.
ESTADO
EFICIENTE.

CAPA

SUMÁRIO

