



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL
DE PERNAMBUCO**
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM FITOPATOLOGIA**

Tese de Doutorado

**Adaptabilidade comparativa de espécies
fúngicas causadoras do pé-preto da videira no
Nordeste brasileiro e reação de cultivares**

Moara Alexandrino Bandeira

**Recife – PE
2018**

MOARA ALEXANDRINO BANDEIRA

**ADAPTABILIDADE COMPARATIVA DE ESPÉCIES
FÚNGICAS CAUSADORAS DO PÉ-PRETO DA VIDEIRA
NO NORDESTE BRASILEIRO E REAÇÃO DE
CULTIVARES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Fitopatologia.

**RECIFE – PE
FEVEREIRO – 2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

B214a Bandeira, Moara Alexandrino
 Adaptabilidade comparativa de espécies fúngicas causadoras do
 pé-preto da videira no nordeste brasileiro e reação de cultivares /
 Moara Alexandrino Bandeira. – 2018.
 79 f. : il.

 Orientador: Sami Jorge Michereff.
 Coorientador: Alexandre Sandri Capucho.
 Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco,
 Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia, Recife, BR-PE, 2018.
 Inclui referências.

 1. *Campylocarpon* 2. *Cylindrocladiella* 3. Uva 4. Porta-enxerto
 5. Virulência I. Michereff, Sami Jorge, orient. II. Capucho, Alexandre
 Sandri, coorient. III. Título

CDD 632

**ADAPTABILIDADE COMPARATIVA DE ESPÉCIES
FÚNGICAS CAUSADORAS DO PÉ-PRETO DA VIDEIRA
NO NORDESTE BRASILEIRO E REAÇÃO DE
CULTIVARES**

MOARA ALEXANDRINO BANDEIRA

COMITÊ DE ORIENTAÇÃO:

Prof. Dr. Sami Jorge Michereff (UFRPE) – Orientador

Prof. Dr. Alexandre Sandri Capucho (UNIVASF) – Coorientador

**RECIFE – PE
FEVEREIRO – 2018**

**ADAPTABILIDADE COMPARATIVA DE ESPÉCIES
FÚNGICAS CAUSADORAS DO PÉ-PRETO DA VIDEIRA
NO NORDESTE BRASILEIRO E REAÇÃO DE
CULTIVARES**

MOARA ALEXANDRINO BANDEIRA

Tese defendida e aprovada pela Banca Examinadora em: 27/02/2018

ORIENTADOR:

Prof. Dr. Sami Jorge Michereff (UFRPE)

EXAMINADORES:

Profa. Dra. Alice Maria Gonçalves Santos (UFPI)

Prof. Dr. Alexandre Sandri Capucho (UNIVASF)

Profa. Dra. Rosa de Lima Ramos Mariano (UFRPE)

Prof. Dr. Marco Aurélio Siqueira da Gama (UFRPE)

**RECIFE – PE
FEVEREIRO – 2018**

*À luz da minha vida e amor
maior do mundo, Maria
Fernanda.
Ao meu melhor amigo e
companheiro Matheus,*

OFEREÇO

*Em memória de Júlia
Bandeira da Silva, exemplo
de força e amor.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao Pai Celestial por nunca me deixar esmorecer. Aos meus pais Nonato e Elzira, que me ensinaram a perseverar e que apoiaram sempre em minhas decisões, por mais que elas significassem conviver com a saudade.

Ao professor Dr. Sami Michereff pela orientação, atenção, paciência, humanidade e apoio quando mais precisei. Minha gratidão eterna por me permitir “maternar” e seguir com o doutorado.

Aos colegas do Laboratório de Epidemiologia, os quais convivi nestes 4 anos: Cinthia Conforto, Tamiris Joana, Fabio Jr., Soraya Lima, Gabriela Calderon, Catarina Lhinci. Melhor laboratório e companheiros não existem.

Ao professor Dr. Alexandre Capucho por me acolher, orientar e permitir que meus trabalhos fossem em frente. Por compreender as dificuldades de tentar conciliar maternidade-doutorado, e me apoiar. Muito obrigada.

À equipe do Laboratório Fitomelhor da Univasf: Prof. Fracine. Fábio, Mayara, Aline, Andreia, Marília, Leonardo, Erik, Gustavo, Catarina, Antônio, Patrícia, Amanda, Isabela, Renata. Obrigada pela convivência amistosa, por sempre serem solícitos quando precisei de ajuda. Minha passagem por Petrolina foi mais leve e descontraída por conta deles.

Ao meu esposo, companheiro e amigo Matheus, que nunca me deixou desistir e sempre me deu forças para continuar.

Aos amigos-irmãos, Claudeana Souza, Leandro Victor, Leticia Monteiro e Kledson. Obrigada pelo apoio, amor e carinho.

Aos amigos queridos que Recife me deu, aos quais devo (ou não) minha sanidade mental ao longo desses seis anos: Wilson Jr., Mércia Cardoso, Alessandra, Emanuel, Luiz , Antônio Neto, Luciane ,Carmem, Joelma.

Ao Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), pelo apoio institucional e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos;

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia da UFRPE pelos ensinamentos transmitidos;

Aos funcionários Darcy Martins e Romildo Angeiras pela colaboração;

Por fim, a todos que fizeram parte desta conquista, o meu MUITO OBRIGADO.

SUMÁRIO

	Página
AGRADECIMENTOS	vii
RESUMO GERAL	ix
GENERAL ABSTRACT	x
CAPÍTULO I – Introdução Geral	11
Referências Bibliográficas	20
CAPÍTULO II – Adaptabilidade comparativa de espécies fúngicas associadas com o pé-preto da videira no Nordeste brasileiro	25
Resumo	27
Abstract	27
Introdução	28
Materiais e métodos	31
Resultados	36
Discussão	41
Agradecimentos	47
Referências	47
CAPÍTULO III – Reação de porta-enxertos de videira utilizados no Vale do São Francisco a espécies de <i>Campylocarpon</i> e <i>Cylindrocladiella pseudohawaiiensis</i>	63
Resumo	65
Abstract	65
Introdução	66
Materiais e métodos	68
Resultados	70
Discussão	71
Agradecimentos	72
Referências	73
CONCLUSÕES GERAIS	78

RESUMO GERAL

A região Nordeste é responsável por 99% das exportações brasileiras de uvas finas de mesa (*Vitis vinifera* L.), produzidas principalmente no Vale do São Francisco. O pé-preto é uma doença presente em todas as regiões produtoras de uva no mundo, especialmente em viveiros e parreirais jovens. A doença foi relatada recentemente no Nordeste brasileiro, causada por *Campylocarpon fasciculare*, *Campylocarpon pseudofasciculare*, *Campylocarpon semiaridus* e *Cylindrocladiella pseudohawaiiensis*. Apesar da importância do pé-preto em nível mundial, os componentes de adaptabilidade das espécies fúngicas associadas à doença são pouco conhecidos. Para investigar a adaptabilidade saprofítica e patogênica de *C. fasciculare*, *C. pseudofasciculare*, *C. semiaridus* e *C. pseudohawaiiensis*, este estudo comparou o efeito da temperatura no crescimento micelial e na esporulação, efeito do potencial hídrico (Ψ_s), salinidade, pH e fungicidas no crescimento micelial dos patógenos, além da agressividade em ramos destacados de videira. Um segundo objetivo desse estudo foi analisar as reações das principais cultivares de porta-enxertos utilizados no Vale do São Francisco às espécies causadoras do pé-preto. A maior capacidade de esporulação demonstrada por *C. pseudofasciculare* e a menor capacidade de esporulação de *C. semiaridus* podem justificar, respectivamente, a maior e a menor prevalência nos parreirais do Nordeste brasileiro. A maior agressividade apresentada por *C. semiaridus* pode indicar que um novo agente etiológico está se adaptando às condições de cultivo no semiárido brasileiro, no qual várias espécies de *Campylocarpon* e *C. pseudohawaiiensis* podem estar causando pé-preto simultaneamente. Portanto, os resultados desse estudo sugerem que *C. semiaridus* desenvolveu mecanismos de compensação para manter a competitividade em relação às outras espécies, evidenciado pela reduzida capacidade de produção de esporos associada com elevada agressividade. Os cinco porta-enxertos de videira avaliados foram suscetíveis às espécies fúngicas testadas e os menores comprimentos de lesão foram causados no porta-enxerto Freedom. Este genótipo pode ser uma potencial fonte de resistência, e sua escolha, no momento da implantação de novos parreirais, pode ser uma importante ferramenta no manejo do pé-preto no Vale do São Francisco.

Palavras-chave: *Campylocarpon*, *Cylindrocladiella*, *Vitis vinifera*, pé-preto, adaptabilidade, agressividade, porta-enxerto, resistência à doença.

GENERAL ABSTRACT

The Northeast region accounts for 99% of Brazilian exports of fine table grapes (*Vitis vinifera* L.), mainly produced in the São Francisco Valley. Black foot is a disease present in all grape producing regions worldwide, especially in nurseries and young vineyards. This disease was recently reported in the Brazilian Northeast, caused by *Campylocarpon fasciculare*, *Campylocarpon pseudofasciculare*, *Campylocarpon semiaridus* and *Cylindrocladiella pseudohawaiiensis*. Despite the importance of black foot disease of grapevines worldwide, the fitness components of fungal species associated with the disease are poorly understood. To investigate the saprophytic and pathogenic fitness of *C. fasciculare*, *C. pseudofasciculare*, *C. semiaridus* and *C. pseudohawaiiensis*, this study compared the effect of temperature on mycelial growth and sporulation, effect of water potential (Ψ_s), salinity, pH and fungicides on the mycelial growth of the pathogens, as well as the aggressiveness in detached vine shoots of grapevine. A second objective of this study was to analyze the reactions of the main rootstocks cultivars used in São Francisco Valley to *Campylocarpon* species and *C. pseudohawaiiensis*. The higher sporulation capacity demonstrated by *C. pseudofasciculare* and the lower sporulation capacity of *C. semiaridus* can justify the higher and lower prevalence in the Brazilian Northeast, respectively. The greater aggressiveness presented by *C. semiaridus* may indicate that a new etiological agent is adapting to the conditions of cultivation in the Brazilian semiarid, in which several species of *Campylocarpon* and *C. pseudohawaiiensis* may be causing black foot disease simultaneously. Therefore, the results of this study suggest that *C. semiaridus* developed compensation mechanisms to maintain competitiveness in relation to other species, evidenced by the reduced spore production capacity associated with high aggressiveness. The five evaluated grapevine rootstocks were susceptible to the fungal species tested and the smaller lesion lengths were caused in the Freedom rootstock. This genotype may be a potential source of resistance, and its choice at the time of implantation of new vineyards may be an important tool in the management of the black foot disease in the São Francisco Valley.

Keywords: *Campylocarpon*, *Cylindrocladiella*, *Vitis vinifera*, black foot disease, fitness, aggressiveness, rootstock, disease resistance.

Capítulo I

Introdução Geral

ADAPTABILIDADE COMPARATIVA DE ESPÉCIES FÚNGICAS CAUSADORAS DO PÉ-PRETO DA Videira NO NORDESTE BRASILEIRO E REAÇÃO DE CULTIVARES

INTRODUÇÃO GERAL

1. A cultura da videira

A videira pertence ao gênero *Vitis* L., único com importância econômica e alimentar da família Vitaceae (CAMARGO; BERND; REVERS, 2009). Atualmente, considera-se a existência de três centros de origem da videira: do Centro Euroasiático, caracterizado por clima temperado, são originárias as espécies *V. vinifera* L. e *V. sylvestris* C.C.Gmel; do Centro Asiático, de clima muito diverso, se originaram *V. amurensis* Rupr. e *V. flexuosa* Thunb.; e do Centro Americano, com três regiões climáticas (climas temperado árido, temperado úmido e tropical úmido), são originárias 34 espécies descritas e classificadas, dentre as quais *V. labrusca* L., *V. riparia* Michx. e *V. caribaea* DC. (CAMARGO; BERND; REVERS, 2009).

A espécie *V. vinifera* se destaca pela sua importância econômica e elevada diversidade morfológica e genética. A facilidade de propagação assexuada deu origem a um número estimado em 14.000 cultivares, com diferentes finalidades: uvas de mesa, passas, sucos e vinhos. Este número é ampliado anualmente como resultado de diversos programas de melhoramento em andamento em vários países. Apesar da variabilidade genética disponível, o número de cultivares utilizadas em escala comercial é relativamente pequeno (LEÃO, 2010).

As cultivares de videira são adaptadas a vários tipos de solo e clima, o que possibilita o cultivo em quase todas as regiões do mundo (QUEIROZ-VOLTAN; PIRES, 2003). As primeiras videiras cultivadas no Brasil foram de origem europeia e surgiram com a chegada dos colonizadores portugueses. Em meados do século XIX, os imigrantes italianos introduziram a cultivar de uva americana 'Isabel', culminando na rápida substituição dos vinhedos das variedades europeias, tornando-se a base para o desenvolvimento da vitivinicultura comercial nos estados do Rio Grande do Sul e São Paulo (BOTELHO; PIRES, 2009).

As uvas de mesa no Brasil podem ser divididas em três grupos: um formado pelas uvas finas (*V. vinifera*), representado principalmente por cultivares como a 'Itália' e suas

mutações ('Rubi', 'Benitaka' e 'Brasil'), 'Red Globe', 'Red Meire' e as sem sementes ('Centennial Seedless', 'Superior Seedless' ou 'Festival', 'Thompson Seedless', 'Perlette', 'Catalunha' e 'Crimson Seedless'); e outro pelas uvas comuns ou rústicas (*V. labrusca*), cujas representantes principais são as cultivares 'Niagara Rosada' e 'Isabel' (PROTAS; CAMARGO, 2011).

A vitivinicultura brasileira, embora presente em vários estados concentra-se em poucas regiões. É especialmente importante para o Rio Grande do Sul, na serra gaúcha, onde quase a totalidade da produção se destina à agroindústria do suco e do vinho. Na produção de uvas de mesa, destacam-se no Vale do São Francisco (Pernambuco e Bahia) e São Paulo, gerando renda para milhares de famílias (DE MELLO, 2015).

No ano de 2015, o Brasil exportou cerca de 34.398 t de uvas frescas e secas. Tendo como principais destinos países da Europa como Holanda, Reino Unido e Alemanha (AGRIANUAL, 2017). A região Sul destaca-se como a maior produtora de uva no Brasil, tendo participado com 52,2% da produção nacional (513.489 toneladas), seguida da região Nordeste, com 31,33% da produção (309.271 toneladas) no ano de 2016 (IBGE, 2018).

2. Importância da viticultura no Nordeste brasileiro

Muito embora a região Sul apresente-se como a maior produtora brasileira de uva, vale ressaltar que a uva produzida nessa região destina-se, principalmente, à produção de vinho, enquanto na região Nordeste predomina a produção de uvas de mesa. A produção brasileira de uva destinada ao consumo *in natura* representa cerca de 50% da produção nacional (SILVA; COELHO, 2010).

A região Nordeste é a maior produtora de uvas de mesa do Brasil, onde 9.600 ha são cultivados em três diferentes áreas: Vale do São Francisco, localizado na região semiárida dos Estados da Bahia e Pernambuco; Vale do Assú, localizado na região semiárida do Estado do Rio Grande do Norte; e Vale do Siriji, localizado na região subúmida no estado de Pernambuco (CORREIA et al., 2013).

A partir da década de 1960, a uva 'Itália' passou a ser introduzida com sucesso na região semiárida do Vale do São Francisco, marcando o início da viticultura tropical no Brasil (WENDLER, 2009). A viticultura na região semiárida, em particular no Vale do São Francisco, destaca-se no cenário nacional, não apenas pela expansão da área cultivada e do volume de produção, mas principalmente pelos altos rendimentos alcançados e pela qualidade

da uva produzida (SILVA; COELHO, 2010). No ano de 2016 a cidade de Petrolina produziu 168.048 toneladas de uva e a cidade de Juazeiro 39.400 toneladas (IBGE, 2018).

A região Nordeste é responsável por 99% das exportações brasileiras de uvas finas de mesa, sendo o Vale do São Francisco o principal polo brasileiro de produção e exportação dessas uvas (LAZZAROTTO; FIORAVANÇO, 2013).

Em análise sensorial e físico-química de uvas finas de mesa foi determinado que as variedades 'Benitaka', 'Brasil', 'Itália' e 'Red Globe' produzidas no Vale do São Francisco possuíam teores de sólidos solúveis entre 15,8 e 16,5 °Brix, valores em conformidade com os padrões comerciais reportados na Instrução Normativa 1/2002 do Ministério da Agricultura e Abastecimento, a qual determina que as uvas finas de mesa apresentem o mínimo de sólidos solúveis igual a 14 °Brix (Mascarenhas et al., 2013). Lançada em 2012, a cultivar 'BRS Vitória' já foi adotada por 90% de produtores exportadores da região. Uma uva preta com bom equilíbrio entre açúcar e acidez, sem sementes, apresentando teor de açúcar acima de 19° Brix, podendo chegar a 23° Brix, a variedade está fazendo sucesso na Europa e conquistou o exigente mercado britânico (ZANELLA, 2016).

A região também é responsável pela produção de 5 milhões de litros de vinho por ano, se destacando como modelo de desenvolvimento para a região (PALMEIRA, 2012).

A cultura da videira desempenha ainda importante papel social, se sobressaindo entre as culturas irrigadas da região semiárida como a que apresenta o maior coeficiente de geração de empregos diretos e indiretos (SILVA; COELHO, 2010). A atividade vitivinícola no Vale do São Francisco apresenta grande potencial, pois as características edafoclimáticas da região e as técnicas de irrigação permitem o escalonamento da produção e a possibilidade de escolha da época de colheita, podendo se obter de duas a três safras anuais (PEREIRA; GUERRA; MANFROI, 2009). No entanto, a ocorrência simultânea de várias fases fenológicas da planta, associada, em alguns casos, ao manejo fitossanitário inadequado e ao uso de material propagativo sem sanidade comprovada, são alguns dos fatores que têm propiciado a ocorrência de doenças (LIMA et al., 2009).

3. Doenças da videira

As doenças podem acarretar grandes danos na quantidade e qualidade da uva. No Brasil, as principais doenças da videira são o míldio, oídio, antracnose, escoriose, podridões de cacho, cancro bacteriano e as doenças de tronco, como doença de Petri, esca, pé-preto, morte descendente e eutipiose (ALMANÇA; LERIN; CAVALCANTI, 2015).

As condições climáticas do Nordeste brasileiro, associadas às condições intensas de manejo da cultura propiciam, e em alguns casos potencializam, problemas fitossanitários que, se não contornados podem trazer sérios prejuízos econômicos e, a médio/longo prazo, diminuir a vida útil dos parreirais. Entre as doenças que afetam a videira nesta região destacam-se o míldio (*Plasmopara viticola* (Berk. & M.A. Curtis) Berl. & De Toni), o oídio (*Uncinula necator* (Schwein.) Burril.), a ferrugem (*Phakopsora euvitis* Ono), a morte descendente (*Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griff. & Maubl.), o cancro bacteriano (*Xanthomonas campestris* pv. *viticola* (Nayudu) Dye), o enrolamento das folhas (*Grapevine leafroll-associated virus 1-9* - GLRaV 1-9), a malformação infecciosa (*Grapevine fanleaf virus*) e os nematoides das galhas (*Meloidogyne* spp.) (BARBOSA et al., 2010).

Nos últimos anos, tornou-se frequente a constatação de sintomas de declínio em plantas de videira em viveiros, plantações novas e parreirais já estabelecidos nas regiões produtoras do Nordeste do Brasil. Esses sintomas incluem crescimento inicial e vigor reduzidos, amarelecimento de folhas, murcha e diferentes sintomas na madeira, como necrose setorial e estrias marrons a negras (CORREIA et al., 2013). As principais doenças associadas a videiras com declínio em nível mundial são: doença de Petri, pé-preto, esca, morte descendente e eutipiose (FUENTE, 2016; GARCÍA-JIMÉNEZ; RAPOSO; ARMENGOL, 2010; LARIGNON, 2012). Dentre estas, o pé-preto tem recebido pouca atenção no Brasil (SILVA et al., 2014).

4. Pé-preto da videira

O pé-preto da videira é uma importante doença na maioria dos parreirais e está presente em todas as regiões produtoras de uva no mundo, especialmente em viveiros e parreirais jovens (AGUSTÍ-BRISACH; ARMENGOL, 2013; FUENTE, 2016; GRAMAJE; ARMENGOL, 2011; HALLEEN; FOURIE; CROUS, 2006; SANTOS et al., 2014). A doença foi detectada pela primeira vez em nível mundial em parreirais na França, em 1961 (MALUTA; LARIGNON, 1991). No Brasil, a doença foi relatada inicialmente em 1999, em vinhedos de cultivares americanas na Serra Gaúcha (GARRIDO; SÔNEGO; GOMES, 2004), enquanto em 2013 foi relatada pela primeira vez na região Nordeste, no município de Petrolina, em cultivares finas de mesa (CORREIA et al., 2013).

Os sintomas da doença frequentemente se iniciam a partir dos porta-enxertos, que apresentam necrose vascular intensa com início na parte basal, a qual logo invade todo o porta-enxerto, causando redução na biomassa de raízes, cujos pêlos radiculares se apresentam

com lesões escuras, deprimidas e necróticas (AGUSTÍ-BRISACH; ARMENGOL, 2013; ABREO et al., 2010; GARRIDO; SÔNEGO; GOMES, 2004; HALLEEN; FOURIE; CROUS, 2006; REGO et al., 2000). As plantas afetadas apresentam reduzido vigor com troncos pequenos, entrenós curtos, madeira com amadurecimento desigual, folhagem esparsa e pequenas folhas com clorose e necrose. Os sintomas da doença no campo são frequentemente indistinguíveis dos causados pela doença de Petri (ABREO et al., 2010; ALANIZ et al., 2007; HALLEEN; FOURIE; CROUS, 2006; REGO et al., 2000). Quando videiras jovens são infectadas, a morte ocorre rapidamente (GUBLER et al., 2004).

Historicamente, o agente causal do pé-preto da videira era atribuído à fungos do gênero *Cylindrocarpon* Wollenw. No entanto, com o avanço nas pesquisas e técnicas moleculares foi proposto um complexo de espécies causadores da doença. Atualmente, os agentes causais do pé-preto incluem fungos dos gêneros *Campylocarpon* Halleen, Schroers & Crous, *Cylindrocladiella* Boesew., *Dactylonectria* L. Lombard & Crous, *Ilyonectria* P. Chaverri & C. Salgado e *Neonectria* Wollenw. (AGUSTÍ-BRISACH; ARMENGOL, 2013; FUENTE, 2016; LOMBARD et al., 2014).

Até o momento, poucos estudos foram realizados no Nordeste brasileiro visando a identificação das espécies fúngicas causadoras do pé-preto em videira. O primeiro estudo, com um pequeno número de amostras, revelou que *Campylocarpon fasciculare* Schroers, Halleen & Crous e *Campylocarpon pseudofasciculare* Schroers, Halleen & Crous ocorriam em plantas com sintomas de pé-preto no Vale do Assú, mas não ocorriam no Vale do São Francisco (CORREIA et al., 2013). Posteriormente, foram coletadas amostras de plantas sintomáticas em 12 parreirais nesta região, sendo identificadas as duas espécies de *Campylocarpon* previamente descritas (*Ca. fasciculare* e *Ca. pseudofasciculare*) e uma nova espécie, denominada *Ca. semiaridus* sp. nov., com a maior prevalência de *Ca. pseudofasciculare*. Todos os isolados das três espécies foram patogênicos em ramos destacados de videira, mas não houve diferença de agressividade entre as espécies (SILVA et al., 2014). Mais recentemente, foi identificada *Cylindrocladiella pseudohawaiiensis* L. Lombard & Crous causando pé-preto em plantas jovens de videira no Vale do São Francisco (SILVA et al., 2017).

Espécies de *Campylocarpon* e *Cylindrocladiella* são consideradas patógenos e/ou saprófitos de uma ampla gama de hospedeiras e substratos, em regiões temperadas, subtropicais e tropicais em todo o mundo (AGUSTÍ-BRISACH; ARMENGOL, 2013). A produção de clamidosporos pela maioria das espécies desses gêneros permite a sobrevivência

por longos períodos no solo na ausência de hospedeiros, caracterizando-as como habitantes do solo (HALLEEN et al., 2004; LOMBARD et al., 2012).

Novas plantas de videira podem ser infectadas pelos patógenos durante o processo de propagação em viveiros, bem como o material de plantio utilizado no processo de propagação podem já estar infectados pelos patógenos. O solo de viveiros comerciais e de campos de produção constitui outra importante fonte de inóculo. Durante o processo de propagação da videira, no momento do plantio, as extremidades basais suscetíveis (especialmente na área da medula) da maioria das estacas são parcial ou totalmente expostas, e as raízes de calos jovens também podem quebrar durante o processo de plantio, resultando em ferimentos que favorecem a penetração por patógenos habitantes do solo (AGUSTÍ-BRISACH; ARMENGOL, 2013).

O risco de ocorrência do pé-preto pode ser aumentado pelo estresse imposto em videiras jovens em viveiros e campos de produção. Fatores ambientais e práticas de manejo do parreiral, incluindo má drenagem, compactação do solo e covas de plantio inadequadas, que causam o pobre desenvolvimento radicular, bem como a má nutrição, poda drástica de videiras jovens, alta carga produtiva, os efeitos das pragas e outros patógenos podem ser considerados como fatores de estresse. Os processos de propagação no viveiro e estabelecimento do parreiral incluem muitas práticas que causam estresse em videiras jovens. Durante o processo de propagação da videira, as feridas produzidas durante a enxertia, o início do desenvolvimento de raízes e da parte aérea no viveiro, o desenraizamento e a limpeza, o armazenamento a frio e o tempo excessivo em recipientes antes do estabelecimento no parreiral causam estresse nas plantas jovens. Além disso, após o plantio no campo, essas videiras são novamente estressadas pela necessidade de desenvolver as raízes e a parte aérea em um ambiente que é muitas vezes selecionado para limitar o crescimento da parte aérea (PROBST et al., 2012).

Atualmente, não há medidas de controle curativo disponíveis para erradicar os patógenos causadores do pé-preto em viveiros e no campo (AGUSTÍ-BRISACH; ARMENGOL, 2013; FUENTE, 2016). Nos últimos anos, a pesquisa tem sido especialmente focada no desenvolvimento de procedimentos e produtos químicos para prevenir ou reduzir a infecção dos patógenos em tecidos lenhosos da videira durante o processo de propagação com resultados promissores, incluindo a termoterapia, controle biológico, aplicações de quitosana, uso de fungos micorrízicos arbusculares e/ou fungicidas (AGUSTÍ-BRISACH; ARMENGOL, 2013; FUENTE, 2016). No entanto, em condições de campo todos os tratamentos propostos podem reduzir a eficácia devido ao estresse em condições climáticas extremas, que podem

predispor as videiras à infecção. Outros fatores incluem a idade da planta, a suscetibilidade da cultivar e o estágio e a intensidade da doença. Além disso, os custos dos procedimentos mais cuidadosos de poda e o pequeno número de fungicidas registrados com diferentes modos de ação contra a doença podem ser caros para parreirais pequenos. Portanto, muitos fatores contribuem para que não seja possível o controle eficaz do pé-preto e outras doenças associadas ao declínio da videira em nível mundial (BERTSCH et al., 2013).

5. Adaptabilidade de agentes causadores do pé-preto em videira

A seleção natural está intimamente ligada à evolução dos organismos e ocorre por conta da quantidade de descendentes capazes de sobreviver. Esta sobrevivência não é aleatória, sendo muitas vezes dependente da adaptabilidade (“fitness”) dos indivíduos (MILGROOM, 2015). A adaptabilidade biológica de um patógeno de planta é descrita como a habilidade relativa para persistir em um ambiente por um longo período de tempo (NELSON, 1979), sendo constituída de adaptabilidade saprofítica e adaptabilidade patogênica (HARTEVELD et al., 2014). A combinação desses atributos leva a um incremento na reprodução e sobrevivência pelo crescimento micelial, esporulação, patogenicidade e agressividade dos fungos fitopatogênicos (LEACH et al., 2001; PRINGLE; TAYLOR, 2002).

A capacidade competitiva pode ser inferida indiretamente por componentes de adaptabilidade. Como a adaptabilidade é relativa, deve ser estimada pela mensuração de caracteres que propiciam alguma vantagem adaptativa entre os indivíduos. Vários componentes de adaptabilidade podem ser mensurados em patógenos de plantas, dependendo da sua biologia e da facilidade de obtenção por métodos experimentais (MILGROOM, 2015). Marcadores fenotípicos, como taxa de crescimento micelial, potencial reprodutivo, sensibilidade a fungicidas e agressividade tem sido úteis para avaliar a adaptabilidade em patógenos das plantas (ANTONOVICS; ALEXANDER, 1989; ALLEN; LENNÉ; WALLER, 1999; BROWN, 2006; LANNOU, 2012; MILGROOM, 2015).

A capacidade competitiva e a adaptabilidade relativa de um isolado ou espécie de patógeno de planta são determinadas por suas propriedades biológicas intrínsecas, pela resistência e heterogeneidade da população hospedeira, pela densidade populacional e relação genética dos isolados concorrentes, e pelo ambiente físico (ZHAN; MCDONALD, 2013).

Apesar da importância do pé-preto da videira em nível mundial, os componentes de adaptabilidade das espécies fúngicas associadas à doença são pouco conhecidos. O único estudo comparativo avaliou o efeito de temperatura, pH e potencial hídrico (Ψ) no

crescimento micelial, esporulação e produção de clamidosporos de “*Cylindrocarpon*” *pauciseptatum* Schroers & Crous, *Dactylonectria macrodidyma* Halleen, Schroers & Crous e *Ilyonectria liriodendri* (Halleen, Rego & Crous) Chaverri & C. Salgado (AGUSTÍ-BRISACH; ARMENGOL, 2012). Portanto, ainda não foram investigados os componentes de adaptabilidade saprofítica e patogênica de *Ca. fasciculare*, *Ca. pseudofasciculare*, *Ca. semiaridus* e *Cy. pseudohawaiiensis*, causadoras do pé-preto da videira no Nordeste brasileiro, o que pode contribuir para a compreensão da distribuição e prevalência das espécies nas diferentes regiões.

6. Susceptibilidade de porta enxertos de videira ao pé-preto

A prática da enxertia na vitivinicultura se deu no final do século 19, quando ocorreram a introdução acidental e a infecção dos vinhedos europeus por um inseto natural dos Estados Unidos, conhecido como filoxera (*Daktulosphaira vitifoliae* Fitch), o que obrigou o uso de espécies selvagens de videiras americanas resistentes como porta-enxertos. Portanto, a resistência à filoxera foi o primeiro critério de seleção de porta-enxertos, sendo as espécies selvagens de videiras americanas a base genética da maioria dos porta-enxertos utilizados no mundo inteiro (LEÃO; SOARES; RODRIGUES, 2009).

Os principais fatores a serem levados em conta na escolha de um porta-enxerto são: resistência a filoxera, vigor conferido, facilidade de enxertamento, adaptação ao meio (seca e umidade), ação sobre a qualidade da uva e sobre o ciclo vegetativo (REYNIER, 2002). O porta-enxerto ideal para as condições do semiárido brasileiro deve reunir características como vigor, resistência a pragas e doenças e, sobretudo a nematoides, que estão presentes nos solos arenosos da região (LEÃO; SOARES; RODRIGUES, 2009). Algumas cultivares de porta-enxertos são relatadas como possuindo algum nível de resistência ou tolerância aos nematoides (LIMA et al., 2009). Atualmente a cultivar de porta-enxerto utilizada na região de Petrolina-Juazeiro é a ‘SO4’ resultante do cruzamento de *V. berlandieri* x *V. riparia*, com moderada resistência a nematoides. No entanto, outras características agrônômicas refletidas na copa, como vigor aumentado, levaram a adoção desta cultivar (relato do produtor). As cultivares IAC 313, IAC 572 e IAC 766 também são muito utilizadas no Vale do São Francisco (LEÃO; SOARES; RODRIGUES, 2009), todas elas apresentando resistência a nematoides.

Nos Estados Unidos, os porta-enxertos *Vitis riparia* O39-16 e Freedom demonstraram alguma resistência a *C. destructans* (Zissm.) Scholten (GLUBER et al., 2004). Na Espanha,

foi avaliada a susceptibilidade de sete porta-enxertos mais utilizados (110 Richter, 1103 Paulsen, 140 Ruggeri, 161-49 Courdec, 196-17 Castel, Fercal e SO4) a duas espécies de *Cylindrocarpon* e todos os porta-enxertos exibiram os sintomas típicos da doença (ALANIZ et al., 2010). Na Nova Zelândia, foi investigada a reação de quatro porta-enxertos (101-14, Schwarzmann, 5C e Riparia Gloire) a *Cylindrocladiella parva*, mas todas as variedades se mostraram suscetíveis a doença (BROWN et al., 2013).

Existem poucas informações no Brasil sobre a suscetibilidade de porta-enxertos aos patógenos causadores do pé-preto. Nesse contexto, a reação dos principais porta-enxertos utilizados na região Sul do Brasil (101-14, Solferino, 420A, 161-49, SO4, IAC 766, P1103) foi avaliada em relação a *Ca. pseudofasciculare* e *Ilyonectria macrodidyma*. Todos os materiais utilizados foram afetados, demonstrando diferentes graus de suscetibilidade aos patógenos (HECKLER, 2015).

Até o momento não existem trabalhos sobre resistência de porta-enxertos voltada para as condições do semiárido brasileiro. Diante deste contexto, e pela ausência de medidas de controle eficientes contra os fitopatógenos envolvidos, a resistência genética poderia ser uma ferramenta extremamente útil no manejo da doença do pé-preto.

Diante do exposto, os objetivos dessa tese foram investigar os componentes de adaptabilidade saprofítica e patogênica de *Ca. fasciculare*, *Ca. pseudofasciculare*, *Ca. semiaridus* e *Cy. pseudohawaiiensis*, assim como avaliar a reação dos porta-enxertos de videira mais utilizados no Vale do São Francisco a esses patógenos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREO, E.; MARTÍNEZ, I.; BETTUCCI, L.; LUPO, S. Morphological and molecular characterization of *Campylocarpon* and *Cylindrocarpon* spp. associated with black foot disease of grapevines in Uruguay. **Australasian Plant Pathology**, Canberra, v. 39, n. 5, p. 446-452, 2010.
- AGRIANUAL. **Anuário da agricultura brasileira 2017**. São Paulo: IEG Agribusiness Intelligence / Informa Economics South America FNP, 2017. 494 p.
- AGUSTÍ-BRISACH, C; ARMENGOL, J. Effects of temperature, pH and water potential on mycelial growth, sporulation and chlamydospore production in culture of *Cylindrocarpon* spp. associated with black foot of grapevines. **Phytopathologia Mediterranea**, Firenze, v. 51, n. 1, p. 37-50, 2012.
- AGUSTÍ-BRISACH, C; ARMENGOL, J. Black-foot disease of grapevine: an update on taxonomy, epidemiology and management strategies. **Phytopathologia Mediterranea**, Firenze, v. 52, n. 2, p. 245-261, 2013.
- ALANIZ, S.; GARCÍA-JIMÉNEZ, J.; ABAD-CAMPOS, P.; ARMENGOL, J. Susceptibility of grapevine rootstocks to *Cylindrocarpon liriodendri* and *C. macrodidymum*. **Scientia Horticulturae**, Holanda, v. 125, n. 3, p. 305-308, 2010.
- ALANIZ, S.; LEON, M.; GARCÍA-JIMÉNEZ, J.; ABAD, P.; ARMENGOL, J. Characterization of *Cylindrocarpon* species associated with black-foot disease of grapevine in Spain. **Plant Disease**, St. Paul, v. 91, n. 9, p.1187-1193, 2007.
- ALLEN, D. J.; LENNÉ, J. M.; WALLER, J. M. Pathogen biodiversity: its nature, characterization and consequences. In: WOOD, D.; LENNÉ, J. M. (Eds.). **Agrobiodiversity: characterization, utilization and management**. Wallingford: CAB International, 1999. p. 123-153.
- ALMANÇA, M. A. K.; LERIN, S.; CAVALCANTI, F. R. Doenças da videira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 36, n. 289, p. 70-80, 2015.
- ANTONOVICS, J.; ALEXANDER, H. M. The concept of fitness in plant fungal pathogen systems. In: LEONARD, K. J.; FRY, W. E. (Eds.). **Plant disease epidemiology**. New York: McGraw-Hill, 1989. p. 185-214.
- BARBOSA, M. A. G.; CASTRO, J. M. C.; TERAPO, D.; LIMA, M. F.; BATISTA, D.C.; TAVARES, S. C. C. H. Doenças. In: LEÃO, P. C. S.; SOARES, J. M. (Eds.). **Cultivo da videira**. 2. ed. [on line] Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2010. Disponível em:<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/CultivodaVideira_2ed/doencas.html> Acesso em: 08 set. 2017.
- BERTSCH, C.; RAMÍREZ-SUERO, M.; MAGNIN-ROBERT, M.; LARIGNON, P.; CHONG, J.; ABOU-MANSOUR, E.; SPAGNOLO, A.; CLÉMENT, C.; FONTAINE, F. Grapevine trunk diseases: complex and still poorly understood. **Plant Pathology**, London, v. 62, n. 2, p. 243-265, 2013.

BOTELHO, R. V.; PIRES, E. J. P. Viticultura como opção de desenvolvimento para os Campos Gerais. In: ENCONTRO DE FRUTICULTURA DOS CAMPOS GERAIS, 2., 2009. **Anais ...** Ponta Grossa: Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2009. v. 1, p. 40-54.

BROWN, J. K. M. Surveys of variation in virulence and fungicide resistance and their application to disease control. In: COOKE, B. M.; JONES, D. G.; KAYE, B. (Eds.). **The epidemiology of plant diseases**. 2. ed. Dordrecht: Springer, 2006. p. 81-115.]

BROWN, D. S.; JASPERS, M. V.; RIDGWAY, H. J.; BARCLAY, C. J. ; JONES, E. E. Susceptibility of four grapevine rootstocks to *Cylindrocladiella parva*. **New Zealand Plant Protection**, Auckland, v. 66, p. 249-253, 2013.

CAMARGO, U. A.; BERND, R. B.; REVERS, L. F. Melhoramento genético. In: SOARES, J. M.; LEÃO, P. C. S. (Eds.). **A vitivicultura no semiárido brasileiro**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2009. p. 109-147.

CORREIA, K. C.; CÂMARA, M. P. S.; BARBOSA, M. A. G.; SALES Jr, R.; AGUSTÍ-BRISACH, C.; GRAMAJE, D.; LEÓN, M.; GARCÍA-JIMÉNEZ, J.; ABAD-CAMPOS, P.; ARMENGOL, J.; MICHEREFF, S. J. Fungal trunk pathogens associated with table grape decline in Northeastern Brazil. **Phytopathologia Mediterrânea**, Firenze, v. 52, n. 2, p. 380-387, 2013.

DE MELLO, L. M. R. **Desempenho da vitivicultura brasileira em 2015, 2016**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/9952204/artigo-desempenho-da-vitivicultura-brasileira-em-2015>. > Acesso em: 08 set. 2017

FUENTE, M. (Coord.). **Grapevine trunk diseases: a review**. Paris: International Organization of Vine and Wine, 2016. 24 p.

GARCÍA-JIMÉNEZ, J.; RAPOSO, R.; ARMENGOL, J. Enfermedades fúngicas de la madera de la vid. In: JIMÉNEZ DÍAZ, R. M.; SEGUÍ, E. M. (Eds.). **Enfermedades de las plantas causadas por hongos y oomicetos: naturaleza e control integrado**. Valencia: Phytoma-España & Sociedad Española de Fitopatología, 2010. p. 161-173.

GARRIDO, L. R.; SÔNAGO, O. R.; GOMES, V. N. Fungos associados com o declínio e morte de videiras no Estado do Rio Grande do Sul. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 3, p. 322-324, 2004.

GRAMAJE, D.; ARMENGOL, J. Fungal trunk pathogens in the grapevine propagation process: potential inoculum sources, detection, identification, and management strategies. **Plant Disease**, St. Paul, v. 95, n. 9, p. 1040-1055, 2011.

GUBLER, W. D.; BAUMGARTNER, K.; BROWNE, G. T.; ESKALEN, A.; ROONEY-LATHAM, S.; PETIT, E.; BAYRAMIAN, L. A. Root diseases of grapevines in California and their control. **Australasian Plant Pathology**, Canberra, v. 33, n. 2, p. 157-165, 2004.

HALLEEN, F.; FOURIE, P. H.; CROUS, P. W. A review of black foot disease of grapevine. **Phytopathologia Mediterranea**, Firenze, v. 45, n. 1, p. 55-67, 2006.

HALLEEN, F.; SCHROERS, H. J.; GROENEWALD, J. Z.; CROUS, P. W. Novel species of *Cylindrocarpon* (*Neonectria*) and *Campylocarpon* gen. nov. associated with black-foot disease of grapevines (*Vitis* spp.). **Studies in Mycology**, Utrecht, v. 50, p. 431-455, 2004.

HARTEVELD, D. O. C.; AKINSANMI, O. A.; BECKER, M. F.; DRENTH, A. Comparative fitness of *Alternaria* species causing leaf blotch and fruit spot of apple in Australia. **Australasian Plant Pathology**, Canberra, v. 43, n. 5, p. 495-501.

HECKLER, L. I. **Reação de porta-enxertos à doença pé-preto e controle biológico de *Campylocarpon pseudofasciculare* em videira**. 2015. 58 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **SIDRA**: sistema IBGE de recuperação automática [on line]. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda>>. Acesso em: 28 set. 2017.

LANNOU, C. Variation and selection of quantitative traits in plant pathogens. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 50, p. 319-338, 2012.

LARIGNON, P. **Maladies cryptogamiques du bois de la vigne**: symptomatologie et agentes pathogens. Grau du Roi dans le Gard: Institut Français de la Vigne et du Vin, 2012. 74 p.

LAZZAROTTO, J. J.; FIORAVANÇO, J. C. Tendências e sazonalidades nas exportações e importações brasileiras de uva de mesa. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 43, n. 1, p. 43-58, 2013.

LEACH, J. E.; CRUZ, C. M. V.; BAI, J. F.; LEUNG, H. Pathogen fitness penalty as a predictor of durability of disease resistance genes. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 39, p. 187-224, 2001.

LEÃO, P. C. S.; SOARES, J. M.; RODRIGUES, B. L. Principais cultivares In: SOARES, J. M.; LEÃO, P. C. S. (Eds.). **A vitivicultura no semiárido brasileiro**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2009, p.151-214.

LEÃO, P. C. S. Cultivares. In: LEÃO, P. C. S.; SOARES, J. M. (Eds.). **Cultivo da videira**. 2. ed. [on line] Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2010. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/CultivodaVideira_2ed/cultivares.html> Acesso em: 08 set. 2017.

LIMA, M. F.; LOPES, D. B.; TAVARES, S. C. C. H.; TESSMANN, D. J.; MELO, N. F. Doenças e alternativas de controle In: SOARES, J. M.; LEÃO, P. C. S. (Eds.). **A vitivicultura no semiárido brasileiro**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2009, p. 543-596.

LOMBARD, L.; VAN DER MERWE, N. A.; GROENEWALD, J. Z.; CROUS, P. W. Lineages in Nectriaceae: re-evaluating the generic status of *Ilyonectria* and allied genera. **Phytopathologia Mediterranea**, Firenze, v. 53, n. 3, p. 515-532, 2014.

LOMBARD, L.; SHIVAS, R. G.; TO-ANUN, C.; CROUS, P. W. Phylogeny and taxonomy of the genus *Cylindrocladiella*. **Mycological Progress**, Heidelberg, v. 11, n. 4, p. 835-868, 2012.

MALUTA, D. R.; LARIGNON, P. Pied-noir: mieux vaut prévenir. **Viticulture**, Bordeaux, v.11, p. 71-72, 1991.

MASCARENHAS, R. DE J. ; GUERRA, N. B.; AQUINO, J. DE S.; LEÃO, P. C. S. Qualidade sensorial e físico-química de uvas finas de mesa cultivadas no Submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 2, p. 546-554, 2013.

MILGROOM, M. G. **Population biology of plant pathogens: genetics, ecology, and evolution**. St. Paul: APS Press, 2015. 399 p.

NELSON, R. R. The evolution of parasitic fitness. In: HORSFALL, J. G.; COWLING, E. B. (Eds.). **Plant disease: an advanced treatise**. v. 4: How pathogens induce disease. New York: Academic Press, 1979. p. 23-46.

PALMEIRA, A. R. E. **Petrolina – III parte – vinícolas**. 2012. Disponível em: <<http://meseguenaviagem.blogspot.com.br/2012/10/petrolina-iii-parte-vincolas.html>>. Acesso em: 25 mar. 2017.

PEREIRA, G. E.; GUERRA, C. C.; MANFROI, L. Vitivinicultura e enologia. In: SOARES, J. M.; LEÃO, P. C. S. (Eds.). **A vitivinicultura no semiárido brasileiro**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2009. p. 677-724.

PRINGLE, A.; TAYLOR, J. W. The fitness of filamentous fungi. **Trends in Microbiology**, Dordrecht, v. 10, n. 10, p. 474-481, 2002.

PROBST, C.; JONES, E. E.; RIDGWAY, H. J.; JASPERS, M. V. *Cylindrocarpon* black foot in nurseries-two factors that can increase infection. **Australasian Plant Pathology**, Canberra, v. 41, n. 2, p. 157-163, 2012.

PROTAS, J. F. S.; CAMARGO, U. A. O. **Vitivinicultura brasileira: panorama setorial de 2010**. Brasília, Bento Gonçalves, SEBRAE, IBRAVIN/Embrapa Uva e Vinho, 2011. 110 p.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; PIRES, E. J. P. A videira. In: POMMER, C. V. (Ed.). **Uva: tecnologia de produção, pós-colheita, mercado**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2003. p. 37-61.

REYNIER, A. **Manual de viticultura**. 6. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2002. 497 p.

REGO, C.; OLIVEIRA, H.; CARVALHO, A.; PHILLIPS, A. J. L. Involvement of *Phaeoacremonium* spp. and *Cylindrocarpon destructans* with grapevine decline in Portugal. **Phytopathologia Mediterranea**, Firenze, v. 39, n. 1, p. 76-79, 2000.

SANTOS, R. F.; BLUME, E.; MUNIZ, M. F. B.; HARAKAWA, R. ;GARRIDO, L. R. ; REGO, C. Characterization of *Campylocarpon pseudofasciculare* associated with black foot of grapevine in southern Brazil. **Phytopathologia Mediterranea**, Firenze, v. 53, n. 3, p. 406-415, 2014.

SILVA, M. A. **Espécies de *Phaeoacremonium* e *Campylocarpon* associadas ao declínio da videira no Nordeste brasileiro**. 2014. 92 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SILVA, M. A.; CORREIA, K. C.; CÂMARA, M. P. S.; LEÓN, M.; ARMENGOL, J.; MICHEREFF, S. J. First report of *Cylindrocladiella pseudohawaiiensis* associated with black foot disease of table grape in Brazil. **Plant Disease**, St. Paul, 2017 (submetido).

SILVA, P. C. G.; COELHO, R. C. Caracterização social e econômica da cultura da videira. In: LEÃO, P. C. S.; SOARES, J. M. (Eds.). **Cultivo da videira**. 2. ed. [on line] Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2010. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/CultivodaVideira_2ed/Cara-cterizaca_social_da_%20videira.html> Acesso em: 08 set. 2017.

WENDLER, D. F. **Sistema de gestão ambiental aplicado a uma vinícola: um estudo de caso**. 2009. 176 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

ZANELLA, V. **Uva desenvolvida para clima tropical conquista Inglaterra**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2016. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/15640825/uva-desenvolvida-para-clima-tropical-conquista-inglesa>> Acesso em: 08 abr. 2018.

ZHAN, J.; MCDONALD, B. A. Experimental measures of pathogen competition and relative fitness. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 51, p. 131-153, 2013.

CapítuloII

Adaptabilidade comparativa de espécies fúngicas associadas com o pé-preto da videira no Nordeste brasileiro

1 **Adaptabilidade comparativa de espécies fúngicas associadas com o pé-preto**
2 **da videira no Nordeste brasileiro**

3

4 **Moara A. Bandeira¹ • Fábio J.A. Silva¹ • Josep Armengol² • Alexandre S. Capucho³ •**
5 **Sami J. Michereff¹**

6

7 Recebido: /Aceito: /Publicado online:

8

9 ¹ Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 52171-900

10 Recife, Pernambuco, Brazil

11 ² Instituto Agroforestal Mediterráneo, Universidad Politécnica de Valencia, 46022 Valencia,

12 Spain

13 ³ Campus de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Vale do São Francisco, 56300-000

14 Petrolina, Pernambuco, Brasil

15

16 ✉ Sami J. Michereff

17 sami.michereff@ufrpe.br

18 **Resumo** Apesar da importância do pé-preto da videira em nível mundial, os componentes de
19 adaptabilidade das espécies fúngicas associadas à doença são pouco conhecidos. Para
20 investigar os componentes de adaptabilidade saprofítica e patogênica de *Campylocarpon*
21 *fasciculare*, *Campylocarpon pseudofasciculare*, *Campylocarpon semiaridus* e
22 *Cylindrocladiella pseudohawaiiensis*, este estudo comparou o efeito da temperatura no
23 crescimento micelial e na esporulação, efeito do potencial hídrico (Ψ_s), salinidade, pH e
24 fungicidas no crescimento micelial dos patógenos, além da agressividade em ramos
25 destacados de videira. No geral, este estudo revelou que os atributos de adaptabilidade das
26 espécies de *Campylocarpon* e *C. pseudohawaiiensis* são influenciados não apenas pelos
27 atributos genéticos, mas também pelo ambiente em que foram encontradas. A maior
28 agressividade apresentada por *C. semiaridus* pode indicar que um novo agente etiológico está
29 se adaptando as condições de cultivo dos parrerais no semiárido brasileiro, no qual várias
30 espécies de *Campylocarpon* e *C. pseudohawaiiensis* podem estar causando pé-preto
31 simultaneamente. Portanto, os resultados desse estudo sugerem que *C. semiaridus*
32 desenvolveu mecanismos de compensação para manter a competitividade em relação às outras
33 espécies, evidenciado pela reduzida capacidade de produção de esporos associada com
34 elevada agressividade.

35

36 **Palavras-chave** *Campylocarpon* · *Cylindrocladiella* · *Vitis vinifera* · temperatura · salinidade ·
37 agressividade

38

39 **Abstract** Despite the importance of black foot disease of grapevines worldwide, the
40 adaptability components of fungal species associated with the disease are poorly understood.
41 To investigate the components of saprophytic and pathogenic adaptability of *Campylocarpon*
42 *fasciculare*, *Campylocarpon pseudofasciculare*, *Campylocarpon semiaridus* and

43 *Cylindrocladiella pseudohawaiiensis*, this study compared the effect of temperature on
44 mycelial growth and sporulation, effect of water potential (ψ_s), salinity, pH and fungicides on
45 the mycelial growth of the pathogens, as well as the aggressiveness in the vine shoots.
46 Overall, this study revealed that the adaptability attributes of the species of *Campylocarpon*
47 and *C. pseudohawaiiensis* are influenced not only by the genetic attributes, but also by the
48 environment in which they were found. The greater aggressiveness presented by *C.*
49 *semiaridus* may indicate that a new etiological agent is adapting the conditions of vineyards
50 cultivation in the Brazilian semiarid region, in which several species of *Campylocarpon* and
51 *C. pseudohawaiiensis* may be causing black foot disease simultaneously. Therefore, the
52 results of this study suggest that *C. semiaridus* developed compensation mechanisms to
53 maintain competitiveness in relation to the other species, evidenced by the reduced spore
54 production capacity associated with high aggressiveness.

55

56 **Keywords** *Campylocarpon* · *Cylindrocladiella* · *Vitis vinifera* · temperature · salinity ·
57 aggressiveness

58

59 **Introdução**

60

61 A região Nordeste é responsável por 99% das exportações brasileiras de uvas finas de mesa
62 (*Vitis vinifera* L.), produzidas principalmente no Vale do São Francisco, localizado nas áreas
63 semiáridas dos estados da Bahia e de Pernambuco (Lazzarotto e Fioravanço 2013). O pé-preto
64 da videira é uma importante doença na maioria das regiões produtoras de uva no mundo,
65 especialmente em viveiros e parreirais jovens (Halleen et al. 2006; Agustí-Brisach e
66 Armengol 2013). Os sintomas da doença frequentemente iniciam a partir dos porta-enxertos,
67 que apresentam necrose vascular intensa com início na parte basal, a qual logo invade todo o

68 porta-enxerto, causando redução na biomassa de raízes, cujos pelos radiculares se apresentam
69 com lesões escuras, deprimidas e necróticas (Halleen et al. 2006; Gramaje e Armengol 2011;
70 Agustí-Brisach e Armengol 2013). As plantas afetadas apresentam reduzido vigor com
71 troncos pequenos, entrenós curtos, madeira com amadurecimento desigual, folhagem esparsa
72 e pequenas folhas com clorose e necrose, muitas vezes morrendo (Halleen et al. 2006; Alaniz
73 et al. 2007; Abreo et al. 2010; Agustí-Brisach e Armengol 2013).

74 Grandes investimentos no estabelecimento e na manutenção dos parreirais são
75 necessários antes da colheita plena e subsequente obtenção do retorno do financeiro investido.
76 Portanto, uma vida útil longa para as plantas é essencial para sucesso econômico. Por isso, o
77 declínio e a morte de plantas jovens podem causar perdas econômicas significativas para a
78 indústria vitícola (Úrbez-Torres et al. 2014). Não existem informações precisas sobre as
79 perdas causadas pelo pé-preto em videira, no entanto, mortalidade de até 50% das plantas com
80 a doença foi registrada na Nova Zelândia (Mundy 2015).

81 Historicamente, o pé-preto da videira era causado por fungos do gênero
82 *Cylindrocarpon*. No entanto, com o avanço nas pesquisas, notadamente em técnicas
83 moleculares, foi proposto um complexo de espécies causadores da doença. Um total de 24
84 espécies fúngicas dentro de seis gêneros (*Campylocarpon*, *Cylindrocladiella*,
85 *Dactylonectria*, *Ilyonectria*, *Neonectria* e *Thelonectria*) formam o complexo de espécies
86 relatadas como causadoras da doença (Agustí-Brisach e Armengol 2013; Lombard et al. 2014;
87 Carlucci et al. 2017). No Brasil, o pé-preto foi relatado inicialmente em 1999, em vinhedos de
88 cultivares americanas na Serra Gaúcha e o agente causal identificado como
89 *Cylindrocarpon* sp. (Garrido et al. 2004). Em 2013, a doença foi relatada pela primeira vez no
90 Nordeste brasileiro, no município de Assú (estado do Rio Grande do Norte), em cultivares
91 finas de mesa, causada por *Campylocarpon fasciculare* e *Campylocarpon pseudofasciculare*
92 (Correia et al. 2013). Posteriormente, foram coletadas amostras de plantas sintomáticas em 12

93 parreirais no Vale do São Francisco, sendo identificadas as duas espécies de *Campylocarpon*
94 previamente descritas e uma nova espécie, denominada *Campylocarpon semiaridus*, com a
95 maior prevalência de *C. pseudofasciculare* (Silva et al. 2018a). Mais recentemente, foi
96 identificada *Cylindrocladiella pseudohawaiiensis* causando pé-preto em plantas jovens de
97 videira no Vale do São Francisco (Silva et al. 2018b).

98 Espécies de *Campylocarpon* e *Cylindrocladiella* são habitantes do solo, consideradas
99 patógenos e/ou saprófitos de uma ampla gama de hospedeiros e substratos, em regiões
100 temperadas, subtropicais e tropicais em todo o mundo (Agustí-Brisach e Armengol 2013).

101 A adaptabilidade biológica de um patógeno de planta é descrita como a habilidade
102 relativa para persistir em um ambiente por um longo período de tempo (Nelson 1979), sendo
103 constituída de adaptabilidade saprofítica e adaptabilidade patogênica (Harteveld et al. 2014).
104 A combinação desses atributos leva a um incremento na reprodução e sobrevivência pelo
105 crescimento micelial, esporulação, patogenicidade e agressividade dos fungos fitopatogênicos
106 (Leach et al. 2001; Pringle e Taylor 2002).

107 A capacidade competitiva pode ser inferida indiretamente por componentes de
108 adaptabilidade. Como a adaptabilidade é relativa, deve ser estimada pela mensuração de
109 caracteres que propiciam alguma vantagem adaptativa entre os indivíduos. Vários
110 componentes de adaptabilidade podem ser mensurados em patógenos de plantas, dependendo
111 da sua biologia e da facilidade de obtenção por métodos experimentais (Milgroom 2015).
112 Marcadores fenotípicos, como taxa de crescimento micelial, potencial reprodutivo,
113 sensibilidade a fungicidas e agressividade, têm sido úteis para avaliar a adaptabilidade em
114 patógenos de plantas (Antonovics e Alexander 1989; Allen et al. 1999; Brasier, 1999; Brown
115 2006; Lannou 2012; Milgroom 2015).

116 Apesar da importância do pé-preto da videira em nível mundial, os componentes de
117 adaptabilidade das espécies fúngicas associadas à doença são pouco conhecidos. Com isso, o

118 objetivo deste estudo foi investigar os componentes de adaptabilidade saprofítica e patogênica
119 de *C. fasciculare*, *C. pseudofasciculare*, *C. semiaridus* e *C. pseudohawaiiensis*, causadores do
120 pé-preto da videira no Nordeste brasileiro, o que pode contribuir para a compreensão da
121 distribuição e prevalência das espécies.

122

123 **Materiais e métodos**

124

125 **Isolados fúngicos**

126

127 Um total de 11 isolados foi utilizado nos experimentos, constituídos por três isolados de cada
128 espécie de *Campylocarpon* (*C. fasciculare*, *C. pseudofasciculare* e *C. semiaridus*) e dois
129 isolados de *C. pseudohawaiiensis*, obtidos de plantas de videira com sintomas de pé-preto no
130 Nordeste Brasileiro (Tabela 1). Os isolados foram identificados por inferência filogenética
131 baseada na sequência completa da região do espaçador transcrito interno (ITS) e sequências
132 parciais da actina (ACT), β -tubulina (TUB2), fator de alongação (EF-1 α), histona 3 (HIS3),
133 grande subunidade do RNA ribossômico nuclear (LSU) e maior subunidade de RNA
134 polimerase I (RPB1) como descrito anteriormente (Silva et al. 2018a,b). Os isolados foram
135 cedidos pela Coleção de Cultura de Fungos Fitopatogênicos “Prof. Maria Menezes” (CMM)
136 da Universidade Federal Rural de Pernambuco (Recife, Pernambuco, Brasil). As culturas de
137 estoque foram mantidas em meio de cultura batata-dextrose-ágar (BDA) (Acumedia, Lansing,
138 MI, EUA) inclinado a 5 °C no escuro.

139

140 Efeito da temperatura no crescimento micelial e na esporulação

141

142 Discos de micélio (5 mm de diâmetro) foram retirados da margem da colônia de cada isolado

143 com 10 dias de crescimento e transferidos para o centro de placas de Petri contendo BDA.

144 Três placas de cada isolado foram colocadas em incubadoras com temperaturas controladas a

145 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 °C no escuro. O delineamento experimental foi inteiramente

146 casualizado, em arranjo fatorial 11x7, com três repetições (placas) por combinação de isolado

147 e temperatura. O diâmetro das colônias foi mensurado aos 10 dias de incubação em duas

148 direções perpendiculares e obtida a média (mm). Após 20 dias, foi avaliada a esporulação das

149 colônias cultivadas em BDA. O número de conídios produzidos em discos de BDA contendo

150 o crescimento fúngico foi mensurado conforme a metodologia descrita por Alaniz et al.

151 (2007). Dois discos de ágar (5 mm de diâmetro) com crescimento fúngico foram retirados da

152 margem da colônia de cada isolado e cada disco foi colocado em um frasco Eppendorf (1,5

153 mL de capacidade) contendo 1 mL de água esterilizada. Os frascos com os discos foram

154 agitados durante 5 segundos e a suspensão foi filtrada em camada de gaze dupla, para

155 posterior contagem do número de conídios (conídios/mL) com o auxílio de um

156 hemacitômetro.

157

158 Efeito do potencial hídrico (Ψ_s) no crescimento micelial

159

160 Discos de micélio (5 mm) foram retirados da margem da colônia de cada isolado com 10 dias

161 de crescimento em BDA e transferidos para o centro de placas de Petri contendo BDA

162 suplementado com KCl para obter os valores de potencial hídrico (Ψ_s) de -1.0, -2.0, -3.0, -4.0

163 e -5.0 Mpa, conforme Michel e Radcliffe (1995). As placas foram incubadas no escuro a

164 25°C. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 11x5,

165 com três repetições por combinação de isolado e nível de potencial hídrico. O diâmetro das
166 colônias foi avaliado como descrito anteriormente.

167

168 **Efeito da salinidade no crescimento micelial**

169

170 Discos de micélio (5 mm) foram retirados da margem da colônia de cada isolado com 10 dias
171 de crescimento em BDA e transferidos para o centro de placas de Petri contendo BDA
172 suplementado com 1, 2, 4,5, 6, 7e 8% (peso/volume) de NaCl. Placas de Petri com BDA sem
173 adição de NaCl foram utilizadas como testemunhas. As placas foram incubadas no escuro a
174 25°C. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 11x8,
175 com três repetições por combinação de isolado e nível de salinidade. O diâmetro das colônias
176 foi avaliado como descrito anteriormente.

177

178 **Efeito pH no crescimento micelial**

179

180 Discos de micélio (5 mm) foram retirados da margem da colônia de cada isolado com 10 dias
181 de crescimento em BDA e transferidos para o centro de placas de Petri contendo BDA
182 ajustado para pH 4, 7 e 9 pelo uso de soluções 1M de NaOH e HCl. As placas foram
183 incubadas no escuro a 25°C. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em
184 arranjo fatorial 11x3, com três repetições por combinação de isolado e nível de pH. O
185 diâmetro das colônias foi avaliado como descrito anteriormente.

186

187 **Efeito de fungicidas no crescimento micelial**

188

189 A sensibilidade das espécies fúngicas foi determinada em meio de cultura suplementado com
190 fungicidas utilizados em nível mundial para o controle do pé-preto da videira (Agustí-Brisach
191 e Armengol 2013). Foram utilizadas formulações comerciais dos fungicidas carbendazin
192 (Derosal 500 SC, 500 g/L de ingrediente ativo (i.a.), Bayer, São Paulo, SP, Brasil), imazalil
193 (Magnate 500 EC, 500 g/L i.a., Agricur, São Paulo, SP, Brasil), procloraz (Sportak 450 EC,
194 450 g/L i.a., FMC, São Paulo, SP, Brasil), pyraclostrobina (Comet, 250 g/L i.a., Basf, São
195 Paulo, SP, Brasil) e tebuconazole (Folicur 200 EC, 200 g/L i.a., Bayer, São Paulo, SP,
196 Brasil). Os fungicidas foram dissolvidos em água destilada e adicionados ao meio BDA
197 fundente (45 °C) para alcançar a concentração final de 10µg i.a./mL. Os fungicidas foram
198 avaliados separadamente. Discos de micélio (5mm de diâmetro) foram retirados da margem da
199 colônia de cada isolado com 10 dias de crescimento em BDA e transferidos para o centro de
200 placas de Petri contendo BDA suplementado com o fungicida. Placas contendo BDA sem
201 fungicida foram utilizadas como testemunhas. Para cada fungicida o delineamento
202 experimental foi inteiramente casualizado, com três repetições. As placas foram incubadas no
203 escuro a 25°C. O diâmetro das colônias foi avaliado como descrito anteriormente.

204

205 **Agressividade em ramos destacados de videira**

206

207 Ramos verdes destacados de videira (cv. Isabel) foram utilizados para analisar a agressividade
208 das espécies fúngicas. Ramos assintomáticos de plantas não pulverizadas com fungicidas
209 foram coletados em um parreiral comercial em São Vicente Férrer (Vale de Siriji,
210 Pernambuco, Brasil), dos quais não foram detectadas espécies fúngicas causadoras de pé-
211 preto e de outras doenças da madeira após amostragens e repetidos isolamentos. Os ramos

212 foram cortados em segmentos de 30 cm de comprimento e as extremidades mergulhadas em
213 cera. No centro de cada segmento foi efetuado um ferimento superficial (~ 4 mm de
214 comprimento, 2 mm de profundidade) com um bisturi esterilizado. Em seguida, a área ferida
215 foi inoculada com um disco de micélio (4 mm de diâmetro) retirado da margem da colônia de
216 cada isolado com 12 dias de crescimento em BDA. Discos de BDA não colonizados foram
217 utilizados como controles negativos. A área inoculada foi coberta com Parafilm (Pechiney
218 Co., Chicago, EUA) para evitar desidratação rápida. Os ramos inoculados foram colocados
219 em bandejas plásticas contendo três camadas de papel toalha umedecidas com 100 mL de
220 água esterilizada, sobrepostas por uma grade plástica, para evitar o contato direto dos ramos
221 com os papéis úmidos. As bandejas foram incubadas a 25 °C e fotoperíodo de 12 h em uma
222 câmara de crescimento. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 15
223 repetições (ramos) por isolado. Após 25 dias, o Parafilm foi removido, os ramos foram
224 cortados longitudinalmente e as lesões internas observadas visualmente. A agressividade dos
225 isolados foi avaliada pela medição dos comprimentos das lesões, com a redução dos 4 mm da
226 área inoculada.

227

228 **Análises estatísticas**

229

230 Os experimentos foram repetidos para confirmar as observações. Os dados das duas
231 replicações independentes, para cada experimento, foram agrupados após a realização da
232 análise de homogeneidade das variâncias usando o teste de Levene e nenhuma
233 heterogeneidade ser detectada ($P > 0,05$). Os dados obtidos para cada experimento foram
234 submetidos à análise de variância (ANOVA) e em todos os experimentos os isolados não
235 diferiram significativamente ($P > 0,05$) em relação às variáveis analisadas. Portanto, nas
236 análises estatísticas foram utilizados os dados agrupados de cada espécie fúngica. Nos

237 experimentos de temperatura, potencial hídrico e salinidade os dados foram submetidos às
238 análises de regressão linear e não-linear. Os níveis ótimos das variáveis que propiciaram os
239 maiores crescimentos miceliais e os crescimentos miceliais máximos foram estimados usando
240 os modelos de regressão e os sumários numéricos com o auxílio do programa TableCurve™
241 2D 5.01 (Systat Software Inc., Chicago, EUA). A escolha dos modelos foi determinada pelo
242 coeficiente de determinação (R^2), distribuição dos resíduos e quadrado médio dos erros. As
243 significâncias das regressões foram verificadas pelo teste F ($P < 0,05$) e de seus parâmetros
244 pelo teste t ($P < 0,05$). Os valores das variáveis estimadas pelos modelos de regressão, bem
245 como das variáveis dos experimentos de pH, fungicidas e agressividade foram submetidos à
246 ANOVA e as médias comparadas pelo teste da diferença mínima significativa (LSD) de
247 Fisher ($P = 0,05$). Os testes de Levene e t, as análises de variância e comparações de médias
248 foram realizadas com auxílio do programa Statistix 9.0 (Analytical Software, Tallahassee,
249 EUA).

250

251 **Resultados**

252

253 **Efeito da temperatura no crescimento micelial e na esporulação**

254

255 A temperatura de incubação influenciou significativamente no crescimento micelial e na
256 esporulação das espécies fúngicas. As espécies de *Campylocarpon* não cresceram e nem
257 esporularam nas temperaturas de 10 e 40 °C, enquanto *C. pseudohawaiiensis* não cresceu e
258 nem esporulou a 35 e 40 °C (Figura 1A e B).

259 O modelo de regressão polinomial de terceiro grau ($y=a+bx+cx^2+dx^3$) proporcionou
260 excelente ajuste aos dados de crescimento micelial em função da temperatura para todas as
261 espécies, com valores de R^2 variando entre 0,983 e 0,989. Neste modelo, y representa o

262 crescimento micelial em determinada temperatura (x), enquanto a , b , c e d são parâmetros da
263 regressão. Com o cálculo das derivadas desses parâmetros é possível estimar o pico máximo
264 de x em função de y , sendo interpretado como a temperatura ótima para o crescimento
265 micelial, bem como o pico máximo de y em função de x , sendo interpretado como o
266 crescimento micelial máximo. As espécies fúngicas diferiram em relação à temperatura ótima
267 para o crescimento micelial, com *C. pseudofasciculare* exigindo a maior temperatura (30,1
268 °C) e *C. pseudohawaiiensis* a menor (25,4 °C). Na temperatura ótima, *C. pseudohawaiiensis*
269 apresentou o menor crescimento micelial (30,7 mm), enquanto as espécies de *Campylocarpon*
270 não diferiram entre si (Tabela 2).

271 O modelo de regressão polinomial de quarto grau ($y=a+bx+cx^2+dx^3+ex^4$)
272 proporcionou excelente ajuste aos dados de esporulação em função da temperatura para todas
273 as espécies, com valores de R^2 variando entre 0,954 e 0,999. Neste modelo, y representa a
274 esporulação em determinada temperatura (x), enquanto a , b , c , d e e são parâmetros da
275 regressão. Com o cálculo das derivadas desses parâmetros é possível estimar a temperatura
276 ótima para a esporulação e a esporulação máxima. As espécies fúngicas diferiram em relação
277 à temperatura ótima para a esporulação, com *C. pseudofasciculare* e *C. semiaridus* exigindo
278 as maiores temperaturas e *C. pseudohawaiiensis* a menor (22,3 °C). Na temperatura ótima, *C.*
279 *pseudofasciculare* apresentou a maior esporulação ($5,4 \times 10^5$ conídios/mL), enquanto *C.*
280 *semiaridus* apresentou a menor esporulação ($1,4 \times 10^5$ conídios/mL) (Tabela 2).

281

282 **Efeito do potencial hídrico (Ψ_s) no crescimento micelial**

283

284 O Ψ_s influenciou significativamente no crescimento micelial das espécies fúngicas. As
285 espécies de *Campylocarpon* e *C. pseudohawaiiensis* cresceram em todos os níveis de Ψ_s , mas

286 apresentaram maior crescimento no Ψ_s mais elevado (-1 Mpa) e reduziram o crescimento
287 com a diminuição do Ψ_s (Figura 2).

288 O modelo de regressão logística de dose-resposta com três parâmetros proporcionou
289 excelente ajuste aos dados de crescimento micelial em função do Ψ_s para todas as espécies
290 fúngicas, com valores de R^2 variando entre 0,989 e 0,999. Houve diferença significativa entre
291 as espécies fúngicas em relação ao nível de Ψ_s necessário para reduzir pela metade o
292 crescimento micelial. A menor sensibilidade à redução do potencial hídrico foi apresentada
293 por *C. pseudohawaiiensis*, pois necessitou de -6.4 MPa de Ψ_s para reduzir o crescimento
294 micelial máximo pela metade, enquanto as outras espécies necessitaram de -4.8 a -4.9 Mpa de
295 para terem a mesma redução, sem diferirem entre si. No Ψ_s mais elevado (-1 Mpa), *C.*
296 *pseudohawaiiensis* e *C. pseudofasciculare* apresentaram os maiores crescimentos miceliais,
297 enquanto *C. fasciculare* e *C. semiaridus* apresentaram os menores crescimentos (Tabela 3).

298

299 **Efeito da salinidade no crescimento micelial**

300

301 O nível de salinidade (concentração de NaCl) no meio de cultura influenciou
302 significativamente no crescimento micelial das espécies fúngicas. Todas as espécies
303 expressaram o maior crescimento na ausência de salinidade (0% NaCl) e reduziram o
304 crescimento com a elevação dos níveis de salinidade. As espécies de *Campylocarpon*
305 cresceram até o nível máximo de salinidade testado (8%), enquanto *C. pseudohawaiiensis*
306 cresceu somente até 5% de salinidade (Figura 3).

307 O modelo de regressão logística de dose-resposta com três parâmetros [$y =$
308 $a/(1+(x/b)^c)$] proporcionou excelente ajuste aos dados de crescimento micelial em função da
309 salinidade (concentração de NaCl) do meio de cultura para todas as espécies fúngicas, com

310 valores de R^2 variando entre 0,988 e 0,999. Neste modelo, y representa o crescimento micelial
311 em determinada salinidade (x). O parâmetro a representa o valor de y antes da transição, ou
312 seja, antes de y começar a diminuir, o que pode ser interpretado como o crescimento micelial
313 máximo no menor nível de salinidade. O parâmetro b representa o valor de x no centro da
314 transição, ou seja, valor de x que vai reduzir em 50% o valor de y , o que pode ser interpretado
315 como o nível de salinidade em que o crescimento micelial máximo é reduzido pela metade
316 (50%). Houve diferença significativa entre as espécies fúngicas em relação ao nível de
317 salinidade necessário para reduzir pela metade o crescimento micelial. A menor sensibilidade
318 à elevação da salinidade foi apresentada por *C. semiaridus*, pois necessitou de 5,1% de
319 salinidade para reduzir o crescimento micelial máximo pela metade, enquanto as outras
320 espécies necessitaram de 3,2 a 3,5% de salinidade para terem a mesma redução, sem diferirem
321 entre si. Na ausência de salinidade, *C. pseudofasciculare* apresentou o maior crescimento
322 micelial, enquanto *C. semiaridus* e *C. fasciculare* apresentaram os menores crescimentos
323 (Tabela 4).

324

325 **Efeito pH no crescimento micelial**

326

327 As espécies de *Campylocarpon* e *C. pseudohawaiiensis* cresceram nos três níveis de pH
328 testados (4, 7 e 9) e a interação entre níveis de pH e espécies fúngicas foi significativa (Tabela
329 5). Em pH 4, *C. pseudohawaiiensis* apresentou o maior crescimento micelial, enquanto os
330 menores crescimentos nesse pH foram evidenciados por *C. fasciculare* e *C. semiaridus*, que
331 não diferiram entre si. *Campylocarpon pseudofasciculare* apresentou os maiores crescimentos
332 nos pHs 7 e 9, por outro lado *C. semiaridus* apresentou os menores crescimentos nesses níveis
333 de pH. Quando comparado o crescimento de cada espécie fúngica nos diferentes níveis de pH,
334 todas as espécies apresentaram os menores crescimentos em pH 4, com exceção de *C.*

335 *pseudohawaiiensis*. Os maiores crescimentos de *C. fasciculare* e *C. pseudofasciculare* foram
336 registrados nos pHs 7 e 9, não havendo diferença significativa entre esses dois níveis. Para *C.*
337 *semiaridus*, o maior crescimento ocorreu em pH 7, enquanto para *C. pseudohawaiiensis* os
338 maiores crescimentos foram nos pHs 7 e 4, sem diferença significativa entre esses níveis.

339

340 **Efeito de fungicidas no crescimento micelial**

341

342 As espécies de *Campylocarpon* e *C. pseudohawaiiensis* apresentaram redução no crescimento
343 micelial na presença dos fungicidas, mas a resposta de sensibilidade variou conforme o
344 fungicida e a espécie fúngica (Tabela 6). Para carbendazin, os níveis de inibição de
345 crescimento micelial foram superiores a 70% e *C. pseudohawaiiensis* apresentou o menor
346 crescimento micelial, enquanto as outras espécies não diferiram entre si. Em relação à
347 imazalil, todas as espécies fúngicas apresentaram inibição inferior a 50%, com *C. semiaridus*
348 e *C. pseudofasciculare* evidenciando as menores sensibilidades. *Cylindrocladiella*
349 *pseudohawaiiensis* apresentou a menor sensibilidade a procloraz, diferindo consistentemente
350 das demais. Em relação à pyraclostrobina, *C. pseudofasciculare* evidenciou a menor
351 sensibilidade, enquanto as outras espécies não diferiram de sensibilidade. Para tebuconazole,
352 houve diferença de sensibilidade somente entre *C. semiaridus* e *C. pseudohawaiiensis*, sendo
353 essa última espécie menos inibida pelo fungicida.

354

355 **Agressividade em ramos destacados de videira**

356

357 As espécies de *Campylocarpon* e *C. pseudohawaiiensis* induziram sintomas em ramos
358 destacados de videira, havendo diferença significativa entre as espécies quanto à
359 agressividade, representada pelo comprimento das lesões causadas (Figura 4). As maiores

360 lesões foram induzidas por *C. semiaridus* (14,5 mm), demonstrando maior agressividade
361 comparada às outras espécies fúngicas. Por outro lado, *C. pseudohawaiiensis* causou as
362 menores lesões (8,2 mm), evidenciando menor agressividade que as demais. *Campylocarpon*
363 *fasciculare* e *C. pseudofasciculare* induziram lesões de tamanhos intermediários, sem
364 diferirem entre si em agressividade.

365

366 **Discussão**

367

368 Os resultados obtidos confirmaram a informação de que a adaptabilidade de qualquer fenótipo
369 está diretamente ligada aos fatores ambientais que envolvem o indivíduo, sendo importante o
370 entendimento destas influências ambientais para fazer previsões sobre a tolerância ecológica
371 do indivíduo estudado (Balodi et al. 2017). Algumas características fenotípicas como
372 crescimento micelial, esporulação e agressividade tendem a refletir muito do genoma, e, mais
373 importante, são muitas vezes características adaptativas com implicações para a estratégia
374 ecológica mais ampla do organismo. Essas características podem ser indicadores sensíveis de
375 diferenças de adaptabilidade entre indivíduos ou populações (Brasier, 1999).

376 A taxa de crescimento micelial é extremamente sensível a pequenas variações no
377 ambiente externo, como seus constituintes químicos, temperatura ou luminosidade (Brasier
378 1999). Nesse estudo, as espécies demonstraram comportamento mesófilo (sensu Deacon
379 2006), sendo capazes de crescer em uma faixa de temperatura entre 10 e 35 °C para as
380 espécies de *Campylocarpon*, e entre 10 e 30 °C para *C. pseudohawaiiensis*. A similaridade
381 das temperaturas ótimas para os crescimentos de *C. fasciculare* e *C. pseudofasciculare* (~30
382 °C) indica proximidade ecológica dessas espécies e confirma a observação de que a
383 adaptabilidade de um indivíduo pode ser influenciada não apenas pelos atributos genéticos,
384 mas também pelo ambiente em que foi encontrado (Antonovics & Alexander, 1989; Zhan &

385 McDonald, 2013), pois no Nordeste brasileiro prevalecem temperaturas superiores a 28 °C
386 durante quase todo o ano (Alvares et al. 2013). Por outro lado, as temperaturas mais amenas
387 exigidas por *C.pseudohawaiiensis* para obter o máximo crescimento micelial (25,4 °C) e
388 esporulação (22,3 °C) podem indicar fatores limitantes para o desenvolvimento dessa espécie
389 no Nordeste brasileiro.

390 O potencial reprodutivo é um aspecto significativo a ser considerado na comparação
391 da adaptabilidade saprofítica das espécies de *Campylocarpon* e *C. pseudohawaiiensis*, como
392 destacado para outras espécies fúngicas (Balodi et al. 2017). A diferença entre as espécies em
393 relação à capacidade de esporulação, como observado neste estudo, indica a diferença no
394 potencial competitivo dos isolados. Conseqüentemente, a taxa de reprodução considera o
395 número de novas progênies produzidas por um isolado ou espécie do patógeno, sendo a
396 medida mais comum de competição entre isolados ou espécies do patógeno. Patógenos com
397 maiores taxas de reprodução têm maior habilidade competitiva, aumentam a frequência em
398 relação às gerações de outros patógenos e eventualmente dominam a população (Zhan e
399 McDonald 2013). Nesse contexto, a maior capacidade de esporulação demonstrada por *C.*
400 *pseudofasciculare* e a menor capacidade de esporulação de *C. semiaridus* podem justificar,
401 respectivamente, a maior e a menor prevalência nos parreirais do Nordeste brasileiro, quando
402 foram comparadas as espécies de *Campylocarpon* em relação à distribuição (Silva et al.
403 2018a).

404 A redução do crescimento micelial das espécies de *Campylocarpon* e *C.*
405 *pseudohawaiiensis* com a diminuição do Ψ s assemelha-se ao registrado em geral para fungos,
406 que ocorre mais acentuadamente a partir de -2MPa (Deacon 2006), bem como em particular
407 para espécies de *Cylindrocarpon* patogênicas a videira (Agustí-Brisach e Armengol 2012).

408 A disponibilidade de água é um dos fatores ambientais de maior importância que
409 afetam a atividade fúngica (Deacon 2006; Palacios et al. 2014). Uma célula microbiana, com

410 potencial hídrico menor que o ambiente que a circunda, absorverá água até que o equilíbrio se
411 estabeleça. O processo inverso resulta em perda da turgescência, com posterior dessecação e
412 morte da célula, a não ser que o microrganismo desenvolva estrutura de resistência ou
413 mecanismo de osmorregulação (Cook e Papendick 1978). O crescimento micelial em todos os
414 níveis de Ψ_s testados pode indicar a capacidade destes indivíduos de suportarem condições
415 adversas como déficit hídrico. No entanto, a menor sensibilidade à redução do Ψ_s apresentada
416 por *C. pseudohawaiiensis* indica maior adaptabilidade à condição de estresse hídrico,
417 comparado às espécies de *Campylocarpon*.

418 A redução do crescimento micelial das espécies de *Campylocarpon* e *C.*
419 *pseudohawaiiensis* com a elevação dos níveis de salinidade é comum na maioria dos fungos,
420 tendo em vista a toxicidade desse tipo de sal (NaCl) para a célula fúngica (Deacon 2006). A
421 menor sensibilidade à salinidade apresentada por *C. semiaridus* pode constituir importante
422 fator de competitividade em relação às outras espécies fúngicas em solos salinizados. Devido
423 às altas taxas de evaporação e baixa precipitação pluviométrica, aliados ao manejo
424 inadequado da água de irrigação, o risco de salinização dos solos do Nordeste brasileiro é
425 alto, incluindo os predominantes nas áreas cultivadas com videira no Vale do São Francisco
426 (Cunha et al. 2008).

427 As espécies de *Campylocarpon* e *C. pseudohawaiiensis* foram capazes de crescer em
428 uma ampla faixa de pH (4-9), mas ficou evidente a maior adaptação às condições de
429 neutralidade (pH 7) ou alcalinidade (pH 9). Esses resultados divergem ligeiramente dos
430 registrados por Rodrigues et al. (2016) em relação a isolados de *C. fasciculare* e *C.*
431 *pseudofasciculare* patogênicos à videira, cujos crescimentos ocorreram em valores de pH
432 entre 3 e 8, com maior crescimento no nível mais elevado. A concentração de íons de
433 hidrogênio em um meio pode afetar o crescimento fúngico indiretamente por seu efeito na
434 disponibilidade de nutrientes ou diretamente pela ação nas superfícies celulares (Carlile et al.

435 2001). Nesse contexto, espécies de *Campylocarpon* e *Cyldrioclastiella* podem ser mais
436 adaptadas a solos neutros a alcalinos, assemelhando-se ao registrado para *Cylindrocarpon*,
437 que apresenta grande proximidade filogenética a esses dois gêneros, e se desenvolve bem em
438 solos ricos em calcário, com pH próximo de 7, sendo pouco encontrado em solos ácidos
439 (Matturi e Stenton 1964). Em estudo com espécies de *Cylindrocarpon* associadas ao pé-preto
440 da videira ficou também evidente a ampla tolerância ao pH para o crescimento micelial, sendo
441 que todos os isolados foram capazes de crescer entre pH 4 e 8, com maior crescimento no
442 nível mais elevado de pH (Agustí-Brisach e Armengol 2012). A origem calcária é uma
443 característica marcante da maioria dos solos cultivados com videira no Vale do São Francisco,
444 levando ao predomínio de solos neutros a alcalinos (Cunha et al. 2008), o que beneficia o
445 cultivo da videira (Cunha e Giongo 2016), mas também pode aumentar a competitividade dos
446 fungos causadores do pé-preto no solo. Além disso, a estratégia de elevar o pH do solo pela
447 calagem, com a finalidade de torná-lo desfavorável para a maioria dos patógenos radiculares,
448 não é indicada para o manejo do pé-preto causado por espécies de *Campylocarpon* e *C.*
449 *pseudohawaiiensis*.

450 Não existem fungicidas registrados no Brasil para o controle do pé-preto em videira,
451 mas 194 formulações são registradas para o controle de outras doenças nessa fruteira
452 (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento 2018), incluindo os princípios ativos
453 utilizados nesse estudo. Portanto, as populações das espécies de *Campylocarpon* e *C.*
454 *pseudohawaiiensis* estão expostas em campo às moléculas fungicidas, apesar de não serem os
455 organismos-alvo. Os resultados evidenciaram uma variação na sensibilidade das espécies aos
456 fungicidas testados.

457 No caso de carbendazin, todas as espécies de *Campylocarpon* e *C. pseudohawaiiensis*
458 foram muito sensíveis e a aplicação desse fungicida pode propiciar resultados excelentes no
459 controle do pé-preto, como já destacado em relação a *Cylindrocarpon* (Rego et al. 2006;

460 Alaniz et al. 2011). O fungicida procloraz propiciou resultados similares a carbendazin para as
461 espécies de *Campylocarpon*, no entanto, apresentou eficácia reduzida para inibir o
462 crescimento de *C. pseudohawaiiensis*. Estudos anteriores já haviam comprovado a eficácia de
463 procloraz para inibir o crescimento de *C. fasciculare* e *C. pseudofasciculare* (Halleen et al.
464 2007), bem como espécies de *Cylindrocarpon* (Rego et al. 2006; Alaniz et al. 2011). Por
465 outro lado, imazalil foi o menos efetivo na inibição do crescimento das espécies de
466 *Campylocarpon* e *C. pseudohawaiiensis*, assemelhando-se ao constatado por Halleen et al.
467 (2007) ao avaliarem a inibição do crescimento de *C. fasciculare* e *C. pseudofasciculare*.
468 Portanto, é pouco provável que essa baixa sensibilidade a imazalil esteja associada ao
469 desenvolvimento de resistência a esse fungicida nas espécies fúngicas, mas sim a uma
470 característica genética inerente às mesmas.

471 Quando comparado ao observado com a utilização de carbendazin, procloraz e
472 tebuconazole, as espécies fúngicas avaliadas apresentaram sensibilidade reduzida a
473 pyraclostrobina assemelhando-se ao constatado previamente em relação à sensibilidade de
474 *Cylindrocarpon* a azoxistrobina, fungicida do mesmo grupo químico da pyraclostrobina
475 (Rego et al. 2006; Alaniz et al. 2011). Os crescimentos de todas as espécies fúngicas foram
476 reduzidos significativamente com a utilização de tebuconazole, diferindo do observado em
477 estudos anteriores (Rego et al. 2006; Alaniz et al. 2011), em que esse fungicida foi menos
478 efetivo que outros para a inibição de *Cylindrocarpon*.

479 Em todos os fungicidas testados ficou evidente a variação na sensibilidade em função
480 da espécie fúngica envolvida, indicando que a eficácia do controle do pé-preto pode ser
481 variável conforme a espécie fúngica predominante na área de plantio. Como o inóculo
482 responsável pelo desenvolvimento do pé-preto nos parreirais do Vale do São Francisco não
483 consiste de uma única espécie fúngica, mas de várias espécies, com uma ou um pequeno
484 número de espécies predominantes (Silva et al. 2018a,b), em muitas situações a identificação

485 da espécie mais predominante no pomar é essencial para que os fungicidas usados
486 demonstrem a eficácia esperada.

487 A adaptabilidade patogênica de um fungo inclui um complexo de características como
488 agressividade, capacidade de infecção e velocidade de colonização dos tecidos do hospedeiro,
489 representados pelos componentes epidemiológicos da doença (Leach et al. 2001; Antonovics
490 e Alexander 1989). A agressividade pode descrever a capacidade de um patógeno em causar
491 epidemias graves na população hospedeira, tendo em vista a maior competência para induzir a
492 doença em menor escala de tempo e/ou maior dano à população hospedeira (Sacristan e
493 Garcia-Arenal, 2008; Pariauld et al. 2009; Lannou, 2012). Nesse contexto, a vantagem
494 adaptativa patogênica de *C. semiaridus* ficou evidente sobre as demais espécies causadoras do
495 pé-preto, ao demonstrar maior agressividade em ramos de videira. A maior agressividade
496 apresentada por *C. Semiaridus* pode indicar que um novo agente etiológico está se adaptando
497 as condições de cultivo dos parrerais no semiárido brasileiro, no qual várias espécies de
498 *Campylocarpon* e *C. pseudohawaiiensis* podem estar causando pé-preto simultaneamente.

499 A teoria da flexibilidade de fitopatógenos em explorar condições ecológicas e bióticas
500 pelo desenvolvimento de mecanismos de compensação foi apresentada por Aust et al. (1980),
501 na qual a fraqueza de um fator importante pode ser compensada com a força em outro fator.
502 Portanto, os resultados desse estudo sugerem que *C. semiaridus* desenvolveu mecanismos de
503 compensação para manter a competitividade em relação às outras espécies, evidenciado pela
504 reduzida capacidade de produção de esporos associada com elevada agressividade. Essa
505 compensação pode estar associada à maior eficácia na infecção, representada pela maior
506 capacidade de germinação dos esporos, penetração e colonização do hospedeiro, como
507 destacado em outros patossistemas (Rotem 1978; Aust et al. 1980; Vallavieille-Pope et al.
508 1995; Vitti et al. 1995; Kranz 2003).

509 Esse estudo identificou diferenças de adaptabilidade entre as espécies de
510 *Campylocarpon* e *Cylindrocladiella* associadas ao pé-preto da videira no Nordeste brasileiro,
511 quando comparada a adaptabilidade saprofítica das espécies sob a influência da temperatura,
512 Ψ_s , salinidade, pH e fungicidas, bem como a adaptabilidade patogênica baseada na
513 agressividade em videira, o que pode contribuir para a compreensão da distribuição e
514 prevalência das espécies, bem como para analisar o potencial de eficácia de algumas medidas
515 no controle da doença.

516

517 **Agradecimentos**

518

519 Este trabalho foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e
520 Tecnológico (CNPq, Brasil) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
521 (CAPES, Brasil). Sami J. Michereff agradece ao CNPq pela concessão da bolsa de pesquisa.

522

523 **Referências**

524

525 Abreo E, Martínez I, Bettucci L, Lupo S (2010) Morphological and molecular
526 characterization of *Campylocarpon* and *Cylindrocarpon* spp. associated with black foot
527 disease of grapevines in Uruguay. *Australas Plant Path* 39:446–452

528 Agustí-Brisach C, Armengol J (2012) Effects of temperature, pH and water potential on
529 mycelial growth, sporulation and chlamydospore production in culture of
530 *Cylindrocarpon* spp. associated with black foot of grapevines. *Phytopathol Mediterr*
531 51:37–50

- 532 Agustí-Brisach C, Armengol J (2013) Black-foot disease of grapevine: an update on
533 taxonomy, epidemiology and management strategies. *Phytopathol Mediterr* 52:245–
534 261.
- 535 Alaniz S, Leon M, García-Jiménez J, Abad-Campos P, Armengol J (2007) Characterization of
536 *Cylindrocarpon* species associated with black-foot disease of grapevine in Spain. *Plant*
537 *Dis* 91:1187–1193
- 538 Alaniz S, Abad-Campos P, García-Jiménez J, Armengol J (2011) Evaluations of fungicides to
539 control *Cylindrocarpon liriodendri* and *Cylindrocarpon macrodidymum* in vitro, and
540 their effect during the rooting phase in the grapevine propagation process. *Crop Protect*
541 30:489–494.
- 542 Allen DJ, Lenné JM, Waller JM (1999) Pathogen biodiversity: its nature, characterization and
543 consequences. In: Wood D, Lenné JM (ed) *Agrobiodiversity: characterization,*
544 *utilization and management.* CAB International, Wallingford, pp 123–153
- 545 Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G (2014) Köppen's climate
546 classification map for Brazil. *Meteorol Z* 22:711–728
- 547 Antonovics J, Alexander HM (1989) The concept of fitness in plant fungal pathogen systems.
548 In: Leonard KJ, Fry WE (eds.) *Plant disease epidemiology*, vol. II. McGraw-Hill, New
549 York, pp 185–214
- 550 Balodi R, Ghatak LV, Bisht S, Shukla N (2017) Reproductive fitness of fungal
551 Phytopathogens: deriving co-evolution of host–pathogen systems. In: Ghatak A, Ansar
552 M (eds.) *The phytopathogen: evolution and adaptation.* Apple Academic Press,
553 Waretown, pp 41–64
- 554 Brasier CM (1999) Fitness, continuous variation and selection in fungal populations: an
555 ecological perspective. In: Worrall JJ (ed.) *Structure and dynamics of fungal*
556 *populations.* Springer, Dordrecht, pp 307–337

- 557 Brown JKM (2006) Surveys of variation in virulence and fungicide resistance and their
558 application to disease control. In: Cooke BM, Jones DG, Kaye B (eds.) The
559 epidemiology of plant diseases. 2nd edn. Springer, Dordrecht, p 81–115
- 560 Cook JR, Papendick RI (1978) Role of water potential in microbial growth and development
561 of plant disease, with special reference to postharvest pathology. *HortScience* 13:559–
562 564
- 563 Correia KC, Câmara MPS, Barbosa MAG, Sales Jr. R, Agustí-Brisach C, Gramaje D, León
564 M, García-Jiménez J, Abad-Campos P, Armengol J, Michereff SJ (2013) Fungal trunk
565 pathogens associated with table grape decline in Northeastern Brazil. *Phytopathol*
566 *Mediterr* 52:380–387
- 567 Cunha TJF, Giongo V (2016) Manejo e conservação do solo. In: Leão PCS (ed.) *Cultivo da*
568 *videira*, 2nd edn. Embrapa Semiárido, Petrolina. <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/>.
569 Accessed 18 January 2018
- 570 Cunha TJF, Silva FHBB, Silva MSL, Giongo V, Sa IB, Oliveira Neto MB, Cavalcanti AC
571 (2008) Solos do submédio do vale do São Francisco: potencialidades e limitações para
572 uso agrícola. Embrapa Semiárido, Petrolina. [https://www.embrapa.br/busca-de-](https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/161560/solos-do-submedio-do-vale-do-sao-francisco-potencialidades-e-limitacoes-para-uso-agricola)
573 [publicacoes/-/publicacao/161560/solos-do-submedio-do-vale-do-sao-francisco-](https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/161560/solos-do-submedio-do-vale-do-sao-francisco-potencialidades-e-limitacoes-para-uso-agricola)
574 [potencialidades-e-limitacoes-para-uso-agricola](https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/161560/solos-do-submedio-do-vale-do-sao-francisco-potencialidades-e-limitacoes-para-uso-agricola). Accessed 18 January 2018
- 575 Garrido LR, Sônego OR, Gomes VN (2004) Fungos associados com o declínio e morte de
576 videiras no Estado do Rio Grande do Sul. *Fitopatol Bras* 29:322–324.
- 577 Gramaje D, Armengol J (2011) Fungal trunk pathogens in the grapevine propagation process:
578 potential inoculum sources, detection, identification, and management strategies. *Plant*
579 *Dis* 95:1040–1055
- 580 Halleen F, Fourie PH, Crous PW (2006) A review of black foot disease of grapevine.
581 *Phytopathol Mediterr* 45:55–67

- 582 Halleen F, Fourie PH, Crous PW (2007) Control of black foot disease in grapevine
583 nurseries. *Plant Pathol* 56:637–645
- 584 Harteveld DOC, Akinsanmi OA, Becker MF, Drenth A (2014) Comparative fitness of
585 *Alternaria* species causing leaf blotch and fruit spot of apple in Australia. *Australas*
586 *Plant Path* 43:495–501
- 587 Kranz J (2003) Comparative epidemiology of plant diseases. Springer-Verlag, Berlin
- 588 Lannou C (2012) Variation and selection of quantitative traits in plant pathogens. *Annu Rev*
589 *Phytopathol* 50:319–338
- 590 Lazzarotto JJ, Fioravanço JC (2013) Tendências e sazonalidades nas exportações e
591 importações brasileiras de uva de mesa. *Inform Econ* 43:43–58
- 592 Leach JE, Cruz CMV, Bai JF, Leung H (2001) Pathogen fitness penalty as a predictor of
593 durability of disease resistance genes. *Annu Rev Phytopathol* 39:187–224
- 594 Matturi ST, Stenton, H (1964) Distribution and status in the soil of *Cylindrocarpon* species. *T*
595 *Brit Mycol Soc* 47:577–587
- 596 Michel BE, Radcliffe D (1995) A computer program relating solute potential to solution
597 composition for five solutes. *Agron J* 87:126–130
- 598 Milgroom MG (2015) Population biology of plant pathogens: genetics, ecology, and
599 evolution. APS Press, St. Paul
- 600 Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2018) Agrofit: Sistemas de agrotóxicos
601 fitossanitários. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília.
602 http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acessado 18
603 Janeiro 2018
- 604 Mundy DC (2015) Ecology and control of grapevine root diseases in New Zealand: a review.
605 *N Z Plant Protect* 68:396–404

- 606 Nelson RR (1979) The evolution of parasitic fitness. In: Horsfall JG, Cowling EB (eds.) Plant
607 disease: an advanced treatise: How pathogens induce disease. Academic Press, New
608 York, pp 23–46
- 609 Palacios S, Casasnovas F, Ramirez ML, Reynoso MM, Torres AM (2014) Impact of water
610 potential on growth and germination of *Fusarium solani* soilborne pathogen of peanut.
611 BrazJ Microbiol 45:1105–1112
- 612 Pariaud B, Ravign V, HalkettEF, Goyeau H, Carlier J, Lannou C (2009)Aggressiveness and
613 its role in the adaptation of plant pathogens. Plant Pathol 58:409–424
- 614 Pringle A, Taylor JW (2002) The fitness of filamentous fungi. Trends Microbiol 10:474–481
- 615 Rego C, FarropasL, NascimentoT, Cabral A, OliveiraH (2006) Black foot of grapevine:
616 sensitivity of *Cylindrocarpon destructans* to fungicides. Phytopathol Mediterr 45:93–
617 100
- 618 Rodrigues CA, Farias JWS, Barbosa EGM, Batista DC, Barbosa MAG (2016) Crescimento de
619 espécies de *Campylocarpon* em diferentes níveis de pH. Proceedings of the XI Jornada
620 Científica da Embrapa Semiárido, Petrolina, Pernambuco, Brasil, 8–10 August
621 2016:317–321. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1056523/1/317.pdf>.
622 Accessed 18 January 2018
- 623 Rotem J (1978) Climatic and weather influences on epidemics. In: Horsfall JB, CowlingEB
624 (eds.) Plant disease: an advanced treatise, vol. II. Academic Press, New York, pp 317–
625 337
- 626 Sacristan S, García-Arenal F (2008) The evolution of virulence and pathogenicity in plant
627 pathogen populations. Molec Plant Pathol 9:369–384
- 628 Silva MA, Correia KC, Barbosa MAG, Câmara MPS, Armengol J, Michereff SJ (2018a)
629 Characterization of *Campylocarpon* species associated with black foot disease of table

- 630 grape in the main Brazilian exporting region, with description of *Campylocarpon*
631 *semiaridus* sp. nov. Cryptogamie Mycol (submetido)
- 632 Silva MA, Correia KC, Câmara MPS, León M, Armengol J, Michereff SJ (2018b) First report
633 of *Cylindrocladiella pseudohawaiiensis* associated with black foot disease of table
634 grape in Brazil. J Plant Pathol (submetido)
- 635 Úrbez-Torres JR, Haag P, Bowen P, O’Gorman DT (2014) Grapevine trunk diseases in
636 British Columbia: Incidence and characterization of the fungal pathogens associated
637 with black foot disease of grapevine. Plant Dis 98:456–468
- 638 Vallavieille-Pope C, Huber L, Leconte M, Goyeau H (1995) Comparative effects
639 of temperature and interrupted wet periods on germination, penetration, and infection
640 of *Puccinia recandita* f.sp. *tritici* and *P. striiformis* urediospores on wheat
641 seedlings. Phytopathology 85:409–415
- 642 Vitti AJ, Bergamin Filho A, Amorim L, Fegius NC (1995) Epidemiologia comparativa entre a
643 ferrugem comum e a helmintosporiose do milho: II. Desenvolvimento de epidemias sob
644 condições naturais de infecção. Summa Phytopathol 21:131–133
- 645 Zhan J, McDonald BA (2013) Experimental measures of pathogen competition and relative
646 fitness. Annu Rev Phytopathol 51:131–153

647 **Tabela 1** Isolados de espécies de *Campylocarpon* e *Cylindrocladiella* obtidos de plantas de
 648 videira com sintomas de pé-preto no Nordeste brasileiro usados nesse estudo
 649

Espécie	Número de acesso ¹	Município (Estado) ²
<i>Campylocarpon fasciculare</i>	4271	Curaçá (BA)
<i>C. fasciculare</i>	4272	Petrolina (PE)
<i>C. fasciculare</i>	4278	Petrolina (PE)
<i>Campylocarpon pseudofasciculare</i>	4293	Lagoa Grande (PE)
<i>C. pseudofasciculare</i>	4302	Curaçá (BA)
<i>C. pseudofasciculare</i>	4305	Petrolina (PE)
<i>Campylocarpon semiaridus</i>	4269	Petrolina (PE)
<i>C. semiaridus</i>	4270	Petrolina (PE)
<i>C. semiaridus</i>	4276	Casa Nova (BA)
<i>Cylindrocladiella pseudohawaiiensis</i>	4310	Petrolina (PE)
<i>C. pseudohawaiiensis</i>	4311	Petrolina (PE)

650

651 ¹ Números de acesso representam os códigos CMM dos isolados como codificados pela Coleção de Culturas de
 652 Fungos Fitopatogênicos "Prof. Maria Menezes" da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife,
 653 Pernambuco, Brasil

654 ² Estados brasileiros: Bahia (BA) e Pernambuco (PE)

655 **Tabela 2** Efeito da temperatura no crescimento micelial e na esporulação de espécies de
 656 *Campylocarpon* e *Cylindrocladiella* associadas com o pé-preto da videira no Nordeste
 657 brasileiro
 658

Espécie	Crescimento micelial		Esporulação	
	Temperatura ótima ¹ (°C)	Máximo ² (mm)	Temperatura ótima ³ (°C)	Máxima ⁴ (x10 ⁵ conídios /mL)
<i>Campylocarpon fasciculare</i>	29,0 ab ⁵	40,8 b	29,2ab	2,3 b
<i>C. pseudofasciculare</i>	30,1 a	46,6 a	30,2 a	5,4 a
<i>C. semiaridus</i>	28,5 b	49,9 a	29,7 a	1,4 c
<i>Cylindrocladiella pseudohawaiiensis</i>	25,4 c	30,7 c	22,3 c	2,3 b

659
 660 ^{1,2} Valores estimados pelo ajuste do modelo de regressão polinomial de terceiro grau: $y=a+bx+cx^2+dx^3$, onde y
 661 = crescimento micelial (mm); a , b , c e d são parâmetros da regressão; x = temperatura (*Campylocarpon*
 662 *fasciculare*: $y=8,7864-4,1931x+0,4040x^2-0,0076x^3$, $R^2=0,9898$, $P>F<0,00174$; *Ca. pseudofasciculare*:
 663 $y=37,4207-9,0007x+0,6375x^2-0,0109x^3$, $R^2=0,9847$, $P>F=0,00319$; *Ca. semiaridus*: $y=-2,5771-$
 664 $3,0706x+0,4075x^2-0,0883x^3$, $R^2=0,9878$, $P>F<0,00227$; *Cylindrocladiella pseudohawaiiensis*: $y=36,4712-$
 665 $7,1486x+0,5309x^2-0,0102x^3$, $R^2=0,9827$, $P>F=0,02584$)

666 ^{3,4} Valores estimados pelo ajuste do modelo de regressão polinomial de quarto grau: $y=a+bx+cx^2+dx^3+ex^4$ onde
 667 y = esporulação; a , b , c , d e e são parâmetros da regressão; x = temperatura (*C. fasciculare*: $y=-18,8790+4,0114x-$
 668 $0,296x^2+0,0095x^3-0,000110x^4$, $R^2=0,9996$, $P>F=0,00074$; *C. pseudofasciculare*: $y=4,1452-1,1990x+0,0992x^2-$
 669 $0,0021x^3+0,000006x^4$, $R^2=0,9999$, $P>F<0,00009$; *C. semiaridus*: $y=-6,0057+1,4311x-0,1223x^2+0,0045x^3-$
 670 $0,000058x^4$, $R^2=0,9999$, $P>F<0,00027$; *C. pseudohawaiiensis*: $y=14,6580-3,0565x+0,2395x^2-$
 671 $0,0075x^3+0,000080x^4$, $R^2=0,9542$, $P>F=0,03842$)

672 ⁵ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste LSD de Fisher
 673 ($P=0,05$)

674 **Tabela 3** Efeito do potencial hídrico (Ψ_s) no crescimento micelial de espécies de
 675 *Campylocarpon* e *Cylindrocladiella* associadas com o pé-preto da videira no Nordeste
 676 brasileiro

677

Espécie	Ψ_{smet}^1 (MPa)	Crescimento micelial máximo ² (mm)
<i>Campylocarpon fasciculare</i>	-4,8b ³	63,2c
<i>C. pseudofasciculare</i>	-4,9b	70,3 ab
<i>C. semiaridus</i>	-4,9b	67,8bc
<i>Cylindrocladiella pseudohawaiiensis</i>	-6,4a	73,5 a

678

679 ¹Potencial hídrico em que o crescimento micelial máximo é reduzido pela metade

680 ^{1,2}Valores estimados pelo ajuste do modelo de regressão logística de dose-resposta com três parâmetros: $y =$
 681 $a/(1+(x/b)^c)$, em que $y =$ crescimento micelial (mm); a , b e c são parâmetros da regressão; $x =$ potencial
 682 hídrico (*C. fasciculare*: $y=63,1959/(1+(x/4,8250)^{2,2979}$, $R^2=0,9962$, $P>F<0,00023$; *C. pseudofasciculare*:
 683 $y=70,3116/(1+(x/4,9017)^{2,7832}$, $R^2=0,9893$, $P>F=0,00111$; *C. semiaridus*: $y=67,8169/(1+(x/4,8931)^{3,1395}$,
 684 $R^2=0,9987$, $P>F<0,00007$; *C. pseudohawaiiensis*: $y=73,5331/(1+(x/6,4371)^{3,8043}$, $R^2=0,9891$, $P>F=0,00114$)

685 ³ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste LSD de Fisher
 686 ($P=0,05$)

687 **Tabela 4** Efeito da salinidade no crescimento micelial de espécies de *Campylocarpon* e
 688 *Cylindrocladiella* associadas com o pé-preto da videira no Nordeste brasileiro
 689

Espécie	SALmet ¹ (%)	Crescimento micelial máximo ² (mm)
<i>Campylocarpon fasciculare</i>	3,5b ³	52,9 c
<i>C. pseudofasciculare</i>	3,2 b	62,4 a
<i>C. semiaridus</i>	5,1a	51,4 c
<i>Cylindrocladiella pseudohawaiiensis</i>	3,3b	58,8 b

690

691 ¹ Nível de salinidade em que o crescimento micelial máximo é reduzido pela metade

692 ^{1,2} Valores estimados pelo ajuste do modelo de regressão logística de dose-resposta com três parâmetros: $y =$
 693 $a/(1+(x/b)^c)$, em que $y =$ crescimento micelial (mm); a , b e c são parâmetros da regressão; $x =$ salinidade (*C.*
 694 *fasciculare*: $y=52,8706/(1+(x/3,5015)^{1,8733}$, $R^2=0,9981$, $P>F<0,00001$; *C. pseudofasciculare*:
 695 $y=62,3887/(1+(x/3,1754)^{1,6679}$, $R^2=0,9884$, $P>F=0,00001$; *C. semiaridus*: $y=51,3549/(1+(x/5,1374)^{2,8710}$,
 696 $R^2=0,9988$, $P>F<0,00001$; *C. pseudohawaiiensis*: $y=58,7885/(1+(x/3,2835)^{4,1319}$, $R^2=0,9920$, $P>F=0,00072$)

697 ³ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste LSD de Fisher
 698 ($P=0,05$)

699 **Tabela 5** Efeito do pH no crescimento micelial de espécies de *Campylocarpon* e
 700 *Cylindrocladiella* associadas com o pé-preto da videira no Nordeste brasileiro
 701

Espécie	pH / Crescimento micelial (mm)		
	4,0	7,0	9,0
<i>Campylocarpon fasciculare</i>	45,6 cB ¹	65,9bA	62,2 bA
<i>C. pseudofasciculare</i>	56,3 bB	72,8aA	71,1 aA
<i>C. semiaridus</i>	44,6cC	61,8 cA	56,0 cB
<i>Cylindrocladiella pseudohawaiiensis</i>	66,1 aAB	68,3 bA	63,3 bB

702

703 ¹ Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem significativamente
 704 entre si pelo teste LSD de Fisher ($P=0,05$)

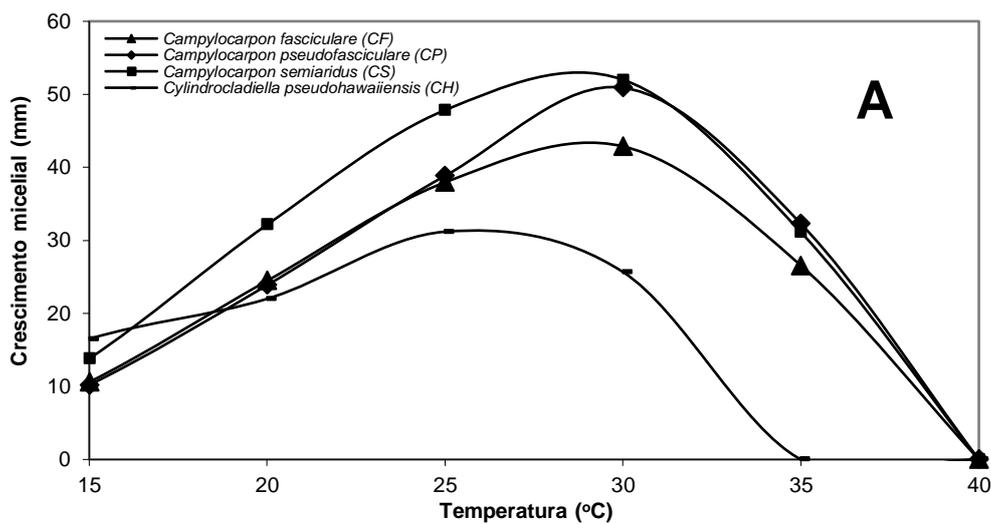
705 **Tabela 6** Efeito dos fungicidas carbendazin, imazalil, procloraz, pyraclostrobina e
 706 tebuconazole na concentração de 10 µg i.a./mL no crescimento micelial de espécies de
 707 *Campylocarpon* e *Cylindrocladiella* associadas com o pé-preto da videira no Nordeste
 708 brasileiro
 709

Espécie	Fungicida ¹ / Inibição do crescimento micelial (%)				
	Carb	Imaz	Proc	Pyra	Tebu
<i>Campylocarpon fasciculare</i>	77,6 ab ²	49,0 a	79,8 a	61,7 a	70,4 ab
<i>C. pseudofasciculare</i>	78,0 ab	37,1 b	84,9 a	43,9 b	71,9 ab
<i>C. semiaridus</i>	78,4 a	37,6 b	80,1 a	57,5 a	73,8 a
<i>Cylindrocladiella pseudohawaiiensis</i>	74,7 b	45,3 a	57,4 b	54,0 a	68,1 b

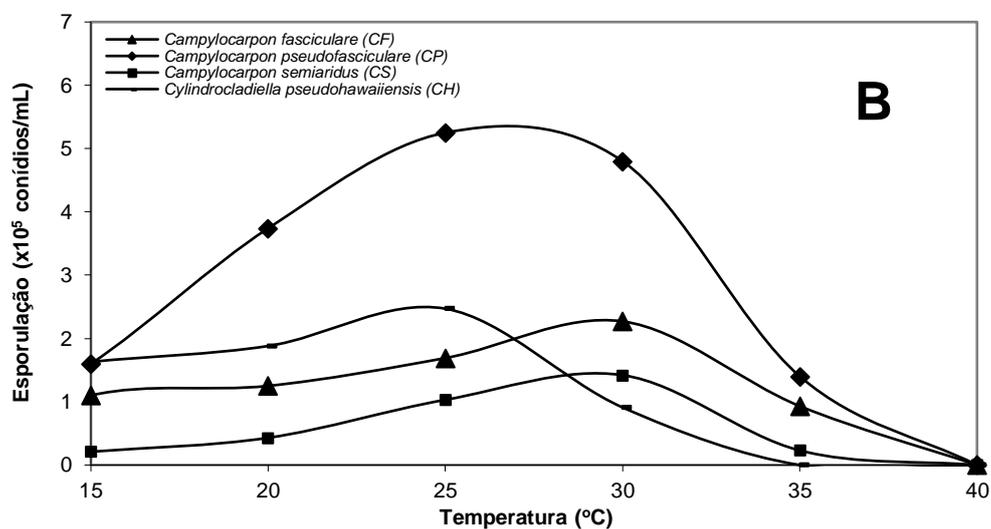
710

711 ¹ Carb = carbendazin (Derosal 500 SC, 500 g/L i.a., Bayer, São Paulo, SP, Brasil); Imaz = imazalil (Magnate 500 EC, 500 g/L
 712 i.a., Agricur, São Paulo, SP, Brasil); Proc = procloraz (Sportak 450 EC, 450 g/L i.a., FMC, São Paulo, SP, Brasil); Pyra =
 713 pyraclostrobina (Comet, 250 g/L i.a., Basf, São Paulo, SP, Brasil); Tebu = tebuconazole (Folicur 200 EC, 200 g/L i.a., Bayer,
 714 São Paulo, SP, Brasil)

715 ² Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste LSD de Fisher ($P=0,05$)



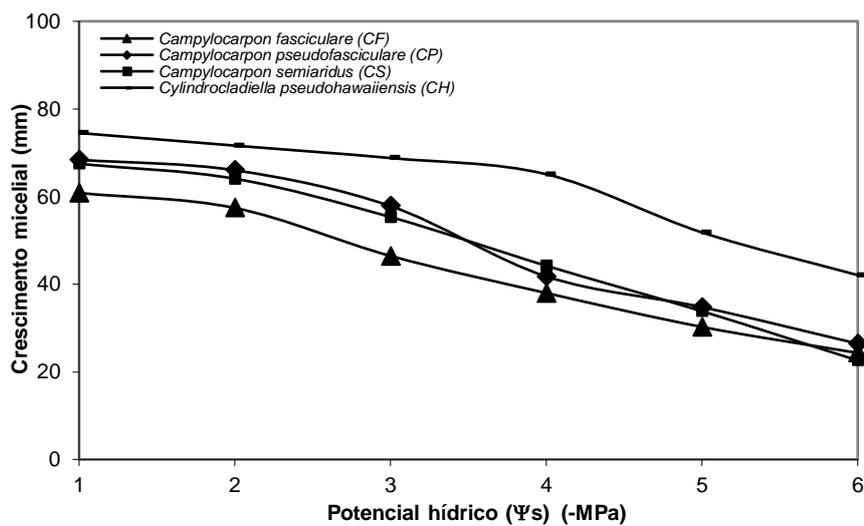
716



717

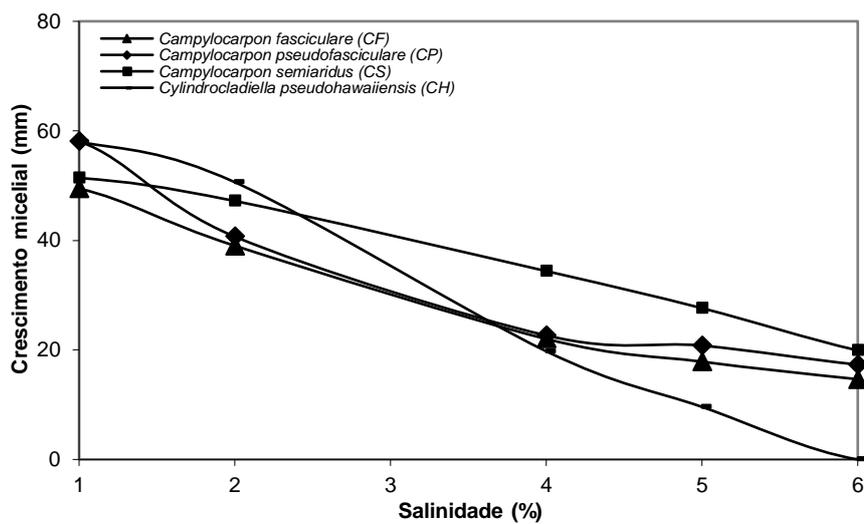
718 **Fig. 1** Efeito da temperatura no crescimento micelial (A) e na esporulação (B) de espécies de719 *Campylocarpon* e *Cylindrocladiella* associadas com o pé-preto da videira no Nordeste

720 brasileiro



721

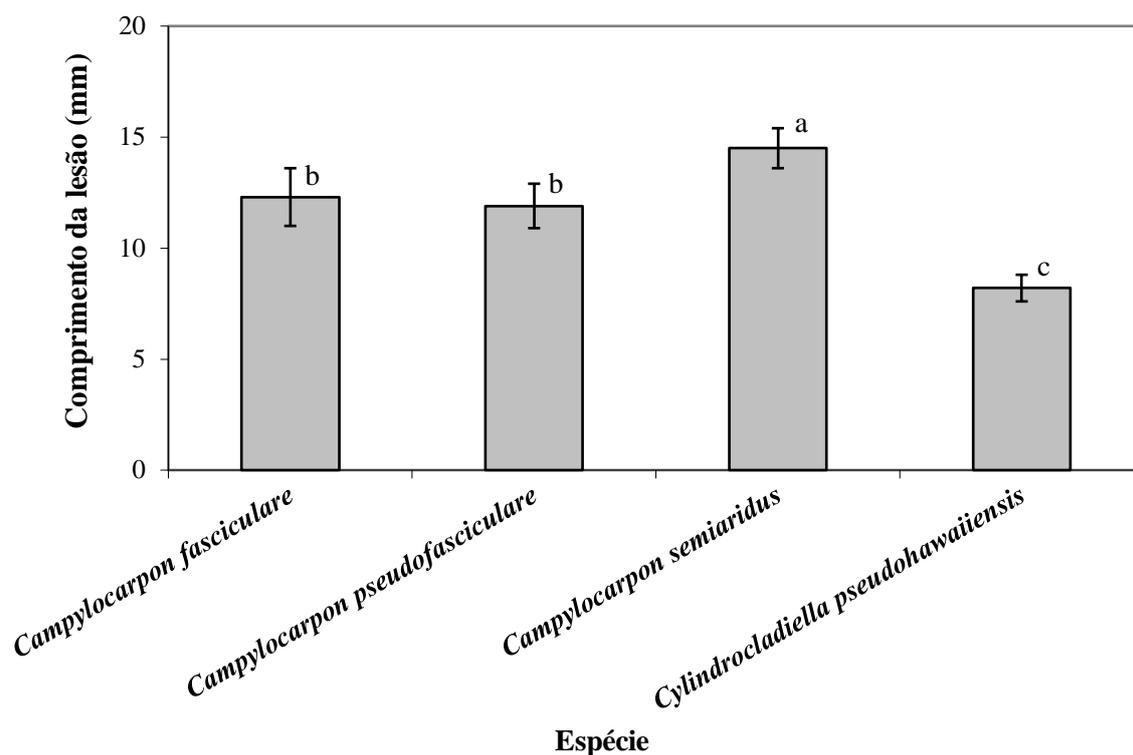
722 **Fig. 2** Efeito do potencial hídrico(Ψs)no crescimento micelial de espécies de *Campylocarpon*723 e *Cyndrocladiella* associadas com o pé-preto da videira no Nordeste brasileiro



724

725 **Fig. 3** Efeito da salinidade no crescimento micelial de espécies de *Campylocarpon* e726 *Cylindrocladiella* associadas com o pé-preto da videira no Nordeste brasileiro

727



728

729 **Fig. 4** Comprimentos médios de lesões internas (mm) causados por espécies de
730 *Campylocarpon* e *Cyndrocladiella* associadas com o pé-preto da videira no Nordeste
731 brasileiro, aos 25 dias após a inoculação de ramos destacados de videira (cv. Isabel) com
732 discos de ágar contendo crescimento micelial. Barras acima das colunas são os erros padrão
733 das médias. Colunas com a mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste
734 LSD de Fisher ($P=0,05$)

Capítulo III

**Reação de porta-enxertos de videira utilizados
no Vale do São Francisco (Brasil) a espécies de
Campylocarpon e *Cylindrocladiella
pseudohawaiiensis***

1 **Reação de porta-enxertos de videira utilizados no Vale do São Francisco**
2 **(Brasil) a espécies de *Campylocarpon* e *Cylindrocladiella pseudohawaiiensis***

3

4 **Moara A. Bandeira¹ • Catarina O. D. Araújo² • Matheus S. Silva³ • Alexandre S.**
5 **Capucho² • Sami J. Michereff¹**

6

7 Recebido: /Aceito: /Publicado online:

8

9 ¹ Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 52171-900

10 Recife, Pernambuco, Brasil

11 ² Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Vale do São Francisco, 56300-000,

12 Petrolina, Pernambuco, Brasil

13 ³ Campus Uruçuí, Instituto Federal do Piauí, 64860-000 Uruçuí, Piauí, Brasil

14

15 ✉ Sami J. Michereff

16 sami.michereff@ufrpe.br

17

18 **Resumo** O pé-preto da videira é uma doença presente em todas as regiões produtoras de uva
19 no mundo, sendo especialmente importante em viveiros e parreirais jovens. O manejo da
20 doença é dificultado pela ausência de medidas de controle curativo. O objetivo desse estudo
21 foi analisar a reação dos principais cultivares de porta-enxerto de videira utilizados no Vale
22 do São Francisco (Brazil) a três espécies de *Campylocarpon* (*C. fasciculare*, *C.*
23 *pseudofasciculare* e *C. semiaridus*) e *Cylindrocladiella pseudohawaiiensis*, agentes causais
24 do pé-preto na região. Foram utilizados 11 isolados fungicos e cinco cultivares de porta-
25 enxerto (Freedom, IAC 313, IAC 572, Paulsen e SO4). As plantas foram inoculadas aos 40
26 dias de idade e o comprimento das lesões foi mensurado aos 30 dias após a inoculação. Todos
27 os isolados induziram sintomas de pé-preto nas plantas, mas não diferiram entre si em
28 agressividade dentro de cada espécie fúngica. A interação entre cultivares e espécies fúngicas
29 foi significativa. *Campylocarpon semiaridus* demonstrou elevada agressividade à maioria
30 dos porta-enxertos. A cultivar SO4 evidenciou a maior suscetibilidade às espécies fúngicas.
31 Por outro lado, a cultivar Freedom apresentou a menor suscetibilidade, indicando o potencial
32 de utilização na implantação de novos parreirais, podendo ser uma importante ferramenta para
33 a redução dos danos causados pelo pé-preto no Vale do São Francisco.

34

35 **Palavras-chave** *Campylocarpon* · *Cylindrocladiella* · *Vitis vinifera* · porta-enxerto ·
36 agressividade · resistência à doença

37

38 **Abstract** The black foot of the grapevine is a disease present in all grapes producing regions
39 worldwide, being especially important in nurseries and young vineyards. Disease
40 management is hampered by the absence of curative control measures. The objective of this
41 study was to analyze the reaction of the main grapevine rootstock cultivars used in the São
42 Francisco Valley (Brazil) to three species of *Campylocarpon* (*C. fasciculare*, *C.*

43 *pseudofasciculare* and *C. semiaridus*) and *Cylindrocladiella pseudohawaiiensis*, causal agents
44 of the black foot disease in the region. Eleven fungal isolates and five rootstock cultivars
45 (Freedom, IAC 313, IAC 572, Paulsen and SO4) were used. The plants were inoculated at 40-
46 days old and lesion length was measured at 30 days after the inoculation. All isolates induced
47 black foot disease symptoms in the plants, but did not differ among themselves in
48 aggressiveness within each fungal species. The interaction among cultivars and fungal species
49 was significant. *Campylocarpon seminaridus* showed high aggressiveness to most of the
50 rootstocks. The cultivar SO4 showed the highest susceptibility to fungal species. On the other
51 hand, the cultivar Freedom presented the least susceptibility, indicating the potential of use in
52 the implantation of new vineyards, being able to be an important tool to reduce the damages
53 caused by the black foot disease in the São Francisco Valley.

54

55 **Keywords** *Campylocarpon* · *Cylindrocladiella* · *Vitis vinifera* ·
56 rootstock · aggressiveness · disease resistance

57

58 **Introdução**

59

60 A região Nordeste é responsável por 99% das exportações brasileiras de uvas finas de mesa
61 (Lazzarotto e Fioravanço 2013). Em 2016, o Nordeste foi responsável por 31,3% da produção
62 brasileira (309,3 mil toneladas), sendo o Vale do São Francisco o principal polo brasileiro de
63 produção e exportação (IBGE 2018).

64 O pé-preto da videira é uma doença que está presente, não somente no Brasil, mas em
65 todas as regiões produtoras de uva no mundo, sendo especialmente importante em viveiros e
66 parreirais jovens (Gramaje e Armengol 2011; Agustí-Brisach e Armengol 2013; Fuente
67 2016). Historicamente, o pé-preto da videira era causado por fungos do gênero

68 *Cylindrocarpon*. No entanto, com o avanço nas pesquisas, notadamente em técnicas
69 moleculares, foi proposto um complexo de espécies causadores da doença. Um total de 24
70 espécies fúngicas dentro de seis gêneros (*Campylocarpon*, *Cylindrocladiella*, *Dactylonectria*,
71 *Ilyonectria*, *Neonectria* e *Thelonectria*) formam o complexo de espécies relatadas como
72 causadoras da doença (Agustí-Brisach e Armengol 2013; Lombard et al. 2014; Carlucci et al.
73 2017). O pé-preto foi relatado pela primeira vez em parreirais no Nordeste brasileiro em 2013
74 (Correia et al. 2013) e atualmente encontra-se amplamente disseminado (Silva et al. 2018a).
75 Até o momento, na região a doença é atribuída a três espécies de *Campylocarpon* (*C.*
76 *fasciculare*, *C. pseudofasciculare* e *C. semiaridus*) e uma espécie de *Cylindrocladiella* (*C.*
77 *pseudohawaiiensis*) (Correia et al. 2013; Silva et al. 2018a,b).

78 Os sintomas da doença frequentemente surgem a partir dos porta-enxertos, que
79 apresentam necrose vascular intensa na parte basal, e, posteriormente, invade todo o porta-
80 enxerto. Os pelos radiculares apresentam lesões escuras, deprimidas e necróticas o que
81 culmina na redução da biomassa de raízes. Em virtude da obstrução do xilema por hifas e
82 esporos, ocorre diminuição na absorção de água e minerais, causando o declínio da planta
83 (Rego et al. 2000; Halleen et al. 2006; Abreo et al. 2010; Agustí-Brisach e Armengol 2013).

84 O controle da doença nos viveiros e parreirais é dificultado pela ausência de medidas
85 curativas (Oliveira et al. 2004; Halleen et al. 2007; Agustí-Brisach e Armengol 2013). Em
86 viveiros, pesquisas estão sendo realizadas para a caracterização do nível de resistência dos
87 porta-enxertos de videira ao pé-preto. Alguns trabalhos mostram que a incidência e a
88 severidade da doença é significativamente afetada pela constituição genética do porta-enxerto
89 (Gramaje et al. 2018). Nos Estados Unidos, Gubler et al. (2004) reportaram que os porta-
90 enxertos O39-16 e Freedom de *Vitis riparia* apresentaram resistência horizontal à doença
91 causada por *Cylindrocarpon destructans*. Na Espanha, Alaniz et al. (2010) avaliaram o nível
92 de resistência dos sete porta-enxertos mais usados no país (110 Richter, 1103 Paulsen, 140

93 Ruggeri,161-49 Courdec,196-17 Castel, Fercal e SO4) a duas espécies de *Cylindrocarpon* e
94 observaram que todos os porta-enxertos foram suscetíveis à doença. Os mesmos resultados
95 foram obtidos na Nova Zelândia por Brown et al. (2013), ao estudarem a reação de quatro
96 porta-enxertos (101-14, Schwarzmann, 5C e Riparia Gloire) a *Cylindrocladiella parva*. No
97 Brasil, Heckler (2015) avaliou a resistência de porta-enxertos (101-14, Solferino, 420A, 161-
98 49, SO4, IAC 766, P1103) contra *Campylocarpon pseudofasciculare* e *Ilyonectria*
99 *macrodidyma* e todos os materiais foram afetados, porém com diferentes níveis da doença.
100 Até o momento não há estudos sobre o comportamento de porta-enxertos de videira utilizados
101 no Vale do São Francisco em relação aos agentes causais do pé-preto registrados na região.
102 Diante do exposto, o objetivo desse estudo foi analisar a reação dos cinco principais cultivares
103 de porta-enxerto de videira utilizados no Vale do São Francisco a três espécies de
104 *Campylocarpon* e *Cylindrocladiella pseudohawaiiensis*, agentes causais do pé-preto na
105 região.

106

107 **Materiais e métodos**

108

109 Um total de 11 isolados foi utilizado no experimento, constituídos por três isolados de *C.*
110 *fasciculare*, três isolados de *C. pseudofasciculare*, três isolados de *C. semiaridus* e dois
111 isolados de *C. pseudohawaiiensis*, todos obtidos de videiras com sintomas de pé-preto no
112 Nordeste Brasileiro (Tabela 1). Os isolados foram identificados por inferência filogenética
113 baseada na sequência completa da região do espaçador transcrito interno (ITS) e sequências
114 parciais da actina (ACT), β -tubulina (TUB2), fator de alongação (EF-1 α), histona 3 (HIS3),
115 grande subunidade do RNA ribossômico nuclear (LSU) e maior subunidade da RNA
116 polimerase I (RPB1) (Silva et al. 2018a, 2018b). Os isolados foram cedidos na Coleção de
117 Cultura de Fungos Fitopatogênicos "Prof. Maria Menezes" (CMM) na Universidade Federal

118 Rural de Pernambuco (Recife, Pernambuco, Brasil). As culturas estoque usadas neste trabalho
119 foram mantidas em meio de batata dextrose ágar (BDA) (Acumedia, Lansing, MI, EUA)
120 incubadas a 5 °C no escuro.

121 Cinco cultivares de porta-enxertos de videira foram avaliados: Freedom, IAC 313,
122 IAC 572, Paulsen e SO4. As plantas foram obtidas por propagação vegetativa (estaquia) e
123 apresentavam 40 dias de idade quando adquiridas junto à empresa Petromudas Ltda.
124 (Petrolina, Pernambuco, Brasil). As mudas foram transplantadas para sacos pretos perfurados
125 de polietileno (25x30 cm) contendo solo duplamente autoclavado. Tratos culturais foram
126 realizados conforme a necessidade da cultura.

127 A inoculação dos isolados fúngicos foi realizada com um auxílio de um furador
128 manual e consistiu na confecção de um ferimento circular no caule de cada planta, a 5 cm de
129 altura do colo, com 0,5 cm de diâmetro e 0,2 cm de profundidade. Após este procedimento,
130 foi depositado um disco (5 mm de diâmetro) de cultura removido das margens de colônias
131 crescidas por 10 dias em meio de cultura batata-dextrose-ágar (BDA), cultivadas em câmara
132 de crescimento à temperatura de 25 °C no escuro. Para a testemunha foi utilizado apenas o
133 disco de meio de cultura sem o fungo. Foi mantida a umidade favorável para o patógeno no
134 ponto da inoculação com o uso de um chumaço de algodão umedecido, sendo essa região do
135 caule envolvida com uma tira de parafilme. Foram utilizadas quatro plantas por tratamento,
136 sendo a unidade experimental constituída por uma planta inoculada. As plantas foram
137 mantidas em ambiente protegido e pós 30 dias realizou-se a avaliação, pela mensuração do
138 comprimento da lesão acima e abaixo do ponto de inoculação com o auxílio de um
139 paquímetro digital.

140 O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em arranjo fatorial com
141 quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e os isolados
142 não diferiram significativamente ($P>0,05$) entre si dentro de cada espécie. Diante disso, foi

143 realizada a ANOVA considerando dois fatores (cultivares e espécies fúngicas) e as médias
144 foram comparadas pelo teste da diferença mínima significativa (LSD) de Fisher ao nível de
145 5% probabilidade. As análises foram realizadas usando o programa Statistix 9.0 (Analytical
146 Software, Tallahassee, USA).

147

148 **Resultados**

149

150 Os cinco porta-enxertos de videira foram suscetíveis aos isolados das espécies de
151 *Campylocarpon* e *Cylindrocladiella pseudohawaiiensis*, apresentando lesões de coloração
152 marrom a marrom-escuro no lenho, acima e abaixo do ponto de inoculação. Houve diferença
153 significativa entre as cultivares ($P<0,0001$) e entre as espécies fúngicas ($P<0,0001$), mas a
154 interação entre esses fatores foi significativa ($P<0,0001$). Nas cultivares IAC 313 e IAC 572
155 não houve diferença de agressividade entre as espécies fúngicas, com tamanhos de lesões
156 variando de 17,0 a 19,2 mm. Na cultivar Freedom, *C. pseudohawaiiensis* foi a menos
157 agressiva (12,3 mm), enquanto as outras espécies fúngicas não diferiram em relação à
158 agressividade (14,3-16,1 mm). Na cultivar Paulsen, *C. semiaridus* foi a mais agressiva (19,1
159 mm), diferindo das demais espécies fúngicas (16,9-17,2 mm). Na cultivar SO4, *C. semiaridus*
160 e *C. pseudohawaiiensis* apresentaram as maiores agressividades (32,3 mm). A cultivar SO4
161 foi a mais suscetível entre os porta-enxertos testados, independentemente da espécie fúngica
162 considerada, com tamanhos de lesões variando entre 27,1 mm (*C. pseudofasciculare*) e 32,3
163 mm (*C. semiaridus* e *C. pseudohawaiiensis*). Por outro lado, a cultivar Freedom demonstrou a
164 menor suscetibilidade a todas as espécies fúngicas, com tamanhos de lesões variando entre
165 12,3 mm (*C. pseudohawaiiensis*) e 16,1 mm (*C. pseudofasciculare* e *C. semiaridus*). As
166 cultivares IAC 313, IAC 572 e Paulsen apresentaram comportamentos de suscetibilidade
167 intermediários.

168

169 **Discussão**

170

171 As diferenças de agressividade entre as espécies fúngicas causadoras do pé-preto deve ser
172 consideração no processo de seleção de genótipos resistentes, pois poderá determinar o
173 sucesso ou o fracasso da introdução de cultivares de porta-enxerto conforme a espécie fúngica
174 predominante. A elevada agressividade de *C. seminaridus* demonstrada na maioria dos porta-
175 enxertos avaliados é uma informação alarmante. Essa espécie foi registrada muito
176 recentemente no Vale do São Francisco e em nível mundial (Silva et al. 2018a), e pelos
177 resultados obtidos nesse estudo, possui grande potencial de danos aos parreirais novos ou já
178 implantados com as cultivares de porta-enxertos analisadas.

179 O controle pela resistência genética constitui a melhor alternativa para o manejo
180 doenças radiculares (Lima et al. 2005), mas não existem porta-enxertos resistentes ao pé-preto
181 da videira, assim como não há medidas de controle curativo para erradicar os patógenos
182 causadores da doença em viveiro e no campo (Oliveira et al. 2004; Halleen et al. 2007;
183 Agustí-Brisach e Armengol 2013).

184 A maior suscetibilidade da cultivar SO4 às espécies fúngicas causadoras do pé-preto é
185 preocupante, tendo em vista ser o porta-enxerto mais utilizado nos parreirais do Vale do São
186 Francisco para a produção de uvas sem semente (Leão 2010). Esse porta-enxerto foi
187 selecionado na Alemanha, a partir do cruzamento entre *Vitis berlandieri* x *Vitis riparia*.
188 Possui como característica marcante uma alta emissão de raízes, o que confere à planta
189 enxertada alto vigor da copa, adiantando a maturação da uva, permitindo uma alta
190 produtividade da variedade de copa e uma qualidade de produção regular (Giovannini 1999).
191 Esse porta-enxerto é recomendado para cultivo em solos arenosos, tornando-se uma boa
192 opção para a maioria das áreas cultivadas com uvas sem sementes no Vale do São Francisco

193 (Leão 2010). A maior agressividade das espécies de *Campylocarpon* e *C. pseudohawaiiensis*
194 a essa cultivar pode ser justificada pela maior adaptação a esse hospedeiro, considerando a
195 utilização intensiva deste porta-enxerto nos parreirais da região, mesmo antes da introdução
196 das cultivares sem sementes. No entanto, o maior risco de danos está associado à implantação
197 de parreirais novos com esse porta-enxerto, pois a doença tem como principal característica
198 afetar principalmente plantas jovens, com dois a oito anos de idade, coincidentemente quando
199 as plantas estão no pico de produção, tornando-se indesejavelmente necessária a sua
200 substituição no parreiral (Larignon 1999).

201 As cultivares IAC 313 e IAC 572 demonstraram menor suscetibilidade que SO4 e
202 maior suscetibilidade que Freedom aos agentes do pé-preto da videira. Esse fato também é
203 preocupante, pois são as cultivares de porta-enxerto mais utilizadas no Vale do São Francisco
204 para enxertia das cultivares de uvas com sementes (Leão 2010).

205 A menor suscetibilidade da cultivar Freedom aos agentes causadores do pé-preto da
206 videira no Vale do São Francisco assemelha-se ao constatado previamente em estudo na
207 Califórnia (Gubler et al. 2004) e indica o potencial de utilização deste porta-enxerto na
208 implantação de novos parreirais, podendo ser uma importante ferramenta para a redução dos
209 danos causados pela doença.

210

211 **Agradecimentos**

212

213 Este trabalho foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e
214 Tecnológico (CNPq, Brasil) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
215 (CAPES, Brasil). Sami J. Michereff agradece ao CNPq pela concessão da bolsa de pesquisa.

216

217 **Referências**

- 218
- 219 Abreo E, Martínez I, Bettucci L, Lupo S (2010) Morphological and molecular
220 characterization of *Campylocarpon* and *Cylindrocarpon* spp. associated with black foot
221 disease of grapevines in Uruguay. *Australas Plant Path* 39:446–452
- 222 Agustí-Brisach C, Armengol J (2013) Black-foot disease of grapevine: an update on
223 taxonomy, epidemiology and management strategies. *Phytopathol Mediterr* 52:245–
224 261.
- 225 Alaniz S, García-Jiménez J, Abad-Campos P, Armengol J (2010) Susceptibility of grapevine
226 rootstocks to *Cylindrocarpon liriodendri* and *C. macrodidymum*. *Scientia Horticul* 125:
227 305–308
- 228 Brown DS, Jaspers MV, Ridgway HJ, Barclay CJ, Jones EE (2013) Susceptibility of four
229 grapevine rootstocks to *Cylindrocladiella parva*. *N Z Plant Protect* 66:249–253
- 230 Carlucci A, Lops F, Mostert L, Halleen F, Raimondo ML (2017) Occurrence fungi causing
231 black foot on young grapevines and nursery rootstock plants in Italy. *Phytopatol*
232 *Mediterr* 56:10–39
- 233 Correia KC, Câmara MPS, Barbosa MAG, Sales Jr. R, Agustí-Brisach C, Gramaje D, León
234 M, García-Jiménez J, Abad-Campos P, Armengol J, Michereff SJ (2013) Fungal trunk
235 pathogens associated with table grape decline in Northeastern Brazil. *Phytopathol*
236 *Mediterr* 52:380–387
- 237 Fuente M (2016) Grapevine trunk diseases: a review *International Organization of Vine and*
238 *Wine*, Paris, 24 p
- 239 Giovannini E (1999) *Produção de uvas para vinho, suco e mesa*. Renascença, Porto Alegre,
240 364 p.

- 241 Gramaje D, Armengol J (2011) Fungal trunk pathogens in the grapevine propagation process:
242 potential inoculum sources, detection, identification, and management strategies. *Plant*
243 *Dis* 95:1040–1055
- 244 Gramaje D, Urbez-Torrez JR, Sosnowski MR (2018) Managing grapevine trunk diseases with
245 respect to etiology and epidemiology current strategies and future prospects. *Plant Dis*
246 102:12–39
- 247 Gubler WD, Baumgartner K, Browne GT, Eskalen A, Rooney-Latham S, Petit E, Bayramian
248 LA (2004) Root diseases of grapevines in California and their control. *Australas Plant*
249 *Pathol* 33:157–165
- 250 Halleen F, Fourie PH, Crous PW (2006) A review of black foot disease of grapevine.
251 *Phytopathol Mediterr* 45:5–67
- 252 Halleen F, Fourie PH, Crous PW (2007) Control of black foot disease in grapevine nurseries.
253 *Plant Pathol* 56:637–645.
- 254 Heckler LI (2015) Reação de porta-enxertos à doença pé-preto e controle biológico de
255 *Campylocarpon pseudofasciculare* em videira. Dissertação, Universidade Federal de
256 Santa Maria, Brasil
- 257 IBGE (2018) SIDRA: Sistema IBGE de recuperação automática. Instituto Brasileiro de
258 Geografia e Estatística, Rio de Janeiro <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda>. Acessado 28
259 Janeiro 2018
- 260 Brown JKM (2006) Surveys of variation in virulence and fungicide resistance and their
261 application to disease control. In: Cooke BM, Jones DG, Kaye B (eds.) *The*
262 *epidemiology of plant diseases*. 2nd edn. Springer, Dordrecht, p 81–115
- 263 Larignon P (1999) Black foot disease in France. In: Morton L (ed.) *Black goo occurrence and*
264 *symptoms of grapevine declines*. IAS/ICGTD, Fort Valley, p 89–90

- 265 Lazzarotto JJ, Fioravanço JC (2013) Tendências e sazonalidades nas exportações e
266 importações brasileiras de uva de mesa. *Inform Econ* 43:43–58
- 267 Leão PCS (2010) Cultivares. In: Leão PCS, Soares JM (eds.) *Cultivo da videira*. 2nd edn.
268 Embrapa Semi-Árido, Petrolina.
269 [http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/CultivodaVideira_2ed/](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/CultivodaVideira_2ed/cultivares.html)
270 [cultivares.html](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/CultivodaVideira_2ed/cultivares.html). Acessado 08 Setembro 2017
- 271 Lima GSA, Assunção IP, Valle LAC (2005) Controle genético de doenças radiculares. In:
272 Michereff SJ, Andrade DEGT, Menezes M (Eds.) *Ecologia e manejo de patógenos*
273 *radiculares em solos tropicais*. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, p
274 247–278
- 275 Lombard L, Merwe NA van der, Groenewald JZ, Crous PW (2014) Lineages in Nectriaceae:
276 re-evaluating the generic status of *Ilyonectria* and allied genera. *Phytopathol Mediterr*
277 53: 340–357
- 278 Oliveira H, Rego MC, Nascimento T (2004) Decline of young grapevines caused by fungi.
279 *Acta Horti* 652:295–304
- 280 Rego C, Oliveira H, Carvalho A, Phillips AJL (2000) Involvement of *Phaeoacremonium* spp.
281 and *Cylindrocarpon destructans* with grapevine decline in Portugal. *Phytopathol*
282 *Mediterr* 39:76–79
- 283 Silva MA, Correia KC, Barbosa MAG, Câmara MPS, Armengol J, Michereff SJ (2018a)
284 Characterization of *Campylocarpon* species associated with black foot disease of table
285 grape in the main Brazilian exporting region, with description of *Campylocarpon*
286 *semiaridus* sp. nov. *Cryptogamie Mycol* (submetido)
- 287 Silva MA, Correia KC, Câmara MPS, León M, Armengol J, Michereff SJ (2018b) First report
288 of *Cylindrocladiella pseudohawaiiensis* associated with black foot disease of table
289 grape in Brazil. *J Plant Pathol* (submetido)

290 **Tabela 1** Isolados de espécies de *Campylocarpon* e *Cylindrocladiella* obtidos de plantas de
 291 videira com sintomas de pé-preto no Nordeste brasileiro usados nesse estudo

292

Espécie	Número de acesso ¹	Município (Estado) ²
<i>Campylocarpon fasciculare</i>	4271	Curaçá (BA)
<i>C. fasciculare</i>	4272	Petrolina (PE)
<i>C. fasciculare</i>	4278	Petrolina (PE)
<i>Campylocarpon pseudofasciculare</i>	4293	Lagoa Grande (PE)
<i>C. pseudofasciculare</i>	4302	Curaçá (BA)
<i>C. pseudofasciculare</i>	4305	Petrolina (PE)
<i>Campylocarpon semiaridus</i>	4269	Petrolina (PE)
<i>C. semiaridus</i>	4270	Petrolina (PE)
<i>C. semiaridus</i>	4276	Casa Nova (BA)
<i>Cylindrocladiella pseudohawaiiensis</i>	4310	Petrolina (PE)
<i>C. pseudohawaiiensis</i>	4311	Petrolina (PE)

293

294 ¹ Números de acesso representam os códigos CMM dos isolados como codificados pela Coleção de Culturas de
 295 Fungos Fitopatogênicos "Prof. Maria Menezes" da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife,
 296 Pernambuco, Brasil

297 ² Estados brasileiros: Bahia (BA) e Pernambuco (PE)

298 **Tabela 2** Comprimentos médios de lesões internas (mm) causados por espécies de
 299 *Campylocarpon* e *Cylindrocladiella pseudohawaiiensis* em cultivares de porta-enxertos de
 300 videira com 40 dias de idade, aos 30 dias após a inoculação

301

Espécie	Cultivar de porta-enxerto				
	Freedom	IAC 313	IAC 572	Paulsen	SO4
<i>Campylocarpon fasciculare</i>	14,3 aC ¹	18,4 aB	17,0 aB	17,2 bB	27,4 bA
<i>C. pseudofasciculare</i>	16,1 aC	19,2 aB	17,0 aB	17,1 bB	27,1 bA
<i>C. semiaridus</i>	16,1 aC	18,1 aB	18,2 aB	19,1 aB	32,3 aA
<i>Cylindrocladiella pseudohawaiiensis</i>	12,3 bC	18,5 aB	17,4 aB	16,9 bB	32,3 aA

C.V. (%) = 11,7

302

303 ¹ Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem significativamente entre si pelo
 304 teste LSD de Fisher ($P=0,05$)

Conclusões Gerais

CONCLUSÕES GERAIS

1. As espécies de *Campylocarpon* (*C. fasciculare*, *C. pseudofasciculare* e *C. semiaridus*) e *Cylindrocladiella pseudohawaiiensis*, causadoras do pé-preto da videira no Vale do São Francisco, apresentam diferenças nas adaptabilidades saprofítica e patogênica;
2. As diferenças nas adaptabilidades saprofítica e patogênica das espécies indicam que as medidas adotadas para o controle do pé-preto da videira no Vale do São Francisco podem ter eficácia variável em função da espécie prevalente na área de plantio;
3. *Campylocarpon semiaridus* tem vantagem adaptativa patogênica sobre as demais espécies causadoras do pé-preto, da videira;
4. A maior agressividade apresentada por *C. semiaridus* aos porta-enxertos testados pode indicar que um novo agente etiológico está se adaptando às condições de cultivo da videira no Vale do São Francisco;
5. As principais cultivares de porta-enxertos de videira utilizadas no Vale do São Francisco são suscetíveis às espécies de *Campylocarpon* e *C. pseudohawaiiensis*;
6. A cultivar Freedom tem grande potencial de utilização na implantação de novos parreirais visando a redução dos danos causados pelo pé-preto no Vale do São Francisco.