

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 15/12/2024

At the author's request, the full text of this thesis/dissertation will not be available online until December 15, 2024

LUCAS ANTONIO BENSO

**PATOGENICIDADE E DANOS ISOLADOS DE *Ceratocystis fimbriata* E OUTROS
PATÓGENOS ASSOCIADOS À DOENÇAS DO CAULE DO EUCALIPTO**

**Botucatu
2023**

LUCAS ANTONIO BENSO

**PATOGENICIDADE E DANOS ISOLADOS DE *Ceratocystis fimbriata* E OUTROS
PATÓGENOS ASSOCIADOS À DOENÇAS DO CAULE DO EUCALIPTO**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Ciência Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Edson Luiz Furtado

**Botucatu
2023**

B-474p

Benso, Lucas Antonio

PATOGENICIDADE E DANOS ISOLADOS DE *Ceratocystis fimbriata* E OUTROS PATÓGENOS ASSOCIADOS À DOENÇAS DO CAULE DO EUCALIPTO / Lucas Antonio Benso. – Botucatu, 2023

109 p. : tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientador: Edson Luiz Furtado

1. Murcha vascular. 2. Lesão caulinar. 3. Podridão do cerne. 4.
Resistência. 5. Fungos fitopatogênicos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de
Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título:

PATOGENICIDADE E DANOS ISOLADOS DE *Ceratocystis fimbriata* E OUTROS PATÓGENOS
ASSOCIADOS À DOENÇAS DO CAULE DO EUCALIPTO

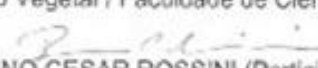
AUTOR: LUCAS ANTONIO BENSO

ORIENTADOR: EDSON LUIZ FURTADO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciência Florestal,
pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. EDSON LUIZ FURTADO (Participação Presencial)
Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias de Botucatu UNESP



Dr. BRUNO CESAR ROSSINI (Participação Presencial)
Instituto de Biotecnologia / Instituto de Biotecnologia - UNESP



Dr. LEO ZIMBACK (Participação Presencial)
Unidade Botucatu / Instituto Florestal de São Paulo



Prof. Dr. WILLIAN BUCKER MORAES (Participação Virtual)
Centro de Ciências Agrárias / Universidade Federal do Espírito Santo



Profa. Dra. LEILA CRISTIANE DELMADI (Participação Virtual)
Engenharia Florestal / Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT

Botucatu, 15 de dezembro de 2023.

*Dedico esse manuscrito aos
meus pais, Bernadete e Antonio,*

por todo apoio,

E a minha companheira,

Júlia,

por toda parceria e carinho

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, das etapas de ensino e pesquisa. Campus de Botucatu / SP, pelo suporte na realização das etapas de ensino e pesquisa.

Aos professores e funcionários do programa de Pós graduação em Ciência Florestal e o Departamento de Proteção Vegetal, em especial, ao professor Edson Luiz Furtado. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES – Projeto 001) pela concessão da bolsa de estudo.

Um agradecimento especial aos moradores e agregados da República Nós Travamos; Busca Pé, Calango Exótico, Cocielo, Fernando, Gambito, Nayara, Magayver, Miyage, Pepa Killer, Saboia, Sommelier e Sugar, por ajudarem a formar quem eu sou hoje.

Aos companheiros do Laboratório de Patologia Florestal do Departamento de Proteção Vegetal; Bruno, Caroline, Lisandro, Luiz Tadeu, Rodrigo e Yerly, pelo auxílio durante o projeto e pelo companheirismo ao longo do tempo.

A empresa Veracel, por colaborar imensamente nesse projeto. Ao Rafael e Marlon Michel, pois sem eles esse trabalho não seria possível.

À minha parceira Júlia por todo seu amor e compreensão.

E a todos que não foram citados, mas que ajudaram direta e indiretamente nesse trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de financiamento 001.

Gratidão!

Os homens devem moldar seu caminho. A partir do momento em que você vir o caminho em tudo o que fizer, você se tornará o caminho.

Miyamoto Musashi

RESUMO

A ocorrência de patologias caulinares está entre os principais fatores que reduzem a produtividade de plantios de eucalipto. Dentre essas doenças, merecem destaque as lesões caulinares, murchas vasculares e podridões do cerne, devido a sua dificuldade de manejo e potencial danoso. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi estudar a gama de microrganismos associados a patologias caulinares em eucalipto e os possíveis danos associados a incidência da murcha de *ceratocystis*. Esse estudo foi realizado em plantios de eucalipto localizados no sul da Bahia, onde foram feitas coletas de amostras de tecidos vegetais, de árvores apresentando diferentes patologias caulinares. Das amostras coletadas, foram isolados microrganismos por meio de métodos de iscas e em meio de cultivo. Os isolados de *Ceratocystis fimbriata* sensu lato estudados foram identificados por meio de sequenciamento gênico das regiões ITS e Bt1, e caracterizados quanto a sua morfologia, temperatura ótima de crescimento e agressividade em diferentes clones. Foi observado que clones de eucalipto, que se mostraram resistente contra determinado isolado de *Ceratocystis*, podem se mostrar susceptíveis quando inoculados com outro isolado, dificultando assim a seleção de materiais resistentes. Em ensaios em campo, foi observado que a incidência da murcha de *ceratocystis* em árvores de eucalipto em idade de corte (7 anos) resultou em queda no crescimento volumétrico de até 10,2%, contudo, sem alterar o rendimento final de celulose. Esse resultado provavelmente está relacionado a relativa baixa porcentagem de volume colonizado pelo patógeno nas árvores amostradas (<3,0%; v/v). Outros microrganismos associados a patologias caulinares foram também identificados ao nível de gênero, por meio de ferramentas moleculares, e foram caracterizados quanto a produção de lacase, reação em KOH e agressividade em mudas de eucalipto. A partir desses ensaios, foi possível identificar novos microrganismos associados a sintomas de lesões caulinares, podridões do cerne e descoloração do alburno em eucalipto, ainda sem relato na literatura, e compreender sua associação com os sintomas observados nas árvores amostradas. De forma geral, o atual trabalho expande o atual conhecimento sobre patologias caulinares em eucalipto.

Palavras-chave: *Ceratocystis*; lesões caulinares; cancro; podridão do cerne; murcha vascular; celulose

ABSTRACT

The occurrence of trunk pathologies is among the main factors that reduce the productivity of eucalypt plantations. Among these diseases, stem lesions, vascular wilt and heartwood rot stand out, due to the difficulty of management and potential damage. Therefore, the objective of this work was to study the range of microorganisms associated with eucalypt trunk pathologies and the possible damage associated with the incidence of ceratocystis wilt. This study was carried out in eucalypt plantations located in southern Bahia, where plant tissue samples were collected from trees presenting different trunk pathologies. From the collected samples, microorganisms were isolated using bait methods and in culture medium. The *Ceratocystis fimbriata* sensu lato isolates studied were identified through gene sequencing of the ITS and Bt regions, and characterized regarding their morphology, optimal growth temperature and aggressiveness in different clones. It was observed that *Eucalyptus* clones resistant to a certain *Ceratocystis* isolate may prove susceptible when inoculated with another isolate, making the selection of resistant materials difficult. In field trials, it was observed that the incidence of ceratocystis wilt in *Eucalyptus* trees at cutting age (7 years) resulted in a reduction in volumetric growth of up to 10.2%, however, without changing the final cellulose yield. This result is probably related to the relatively low percentage of volume colonized by the pathogen in the sampled trees (<3.0%; v/v). Other microorganisms associated with trunk pathologies were also identified at the genus level, using molecular tools, and were characterized in terms of laccase production, reaction to KOH and aggressiveness in eucalypt seedlings. From these tests it was possible to identify new microorganisms associated with symptoms of stem lesions, heartwood rot and sapwood discoloration in *Eucalyptus*, not yet reported in the literature, and to understand their association with the symptoms observed in the sampled trees. In general, this work expands current knowledge about *Eucalyptus* trunk pathologies.

Keywords: *Ceratocystis*; trunk lesions; canker; heartwood rot; vascular wilting; cellulose

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	17
CHAPTER 1 - FUNGI ASSOCIATED WITH TRUNK PATHOLOGIES IN EUCALYPTUS PLANTATIONS	33
1.1 INTRODUCTION	34
1.2 MATERIAL AND METHODS	35
1.2.1 METHODOLOGY FOR SAMPLE COLLECTION AND FUNGAL ISOLATION	35
1.2.2 CHARACTERIZATION OF THE ISOLATES OBTAINED	37
1.2.3 PATHOGENICITY TEST	38
1.2.4 LACCASE PRODUCTION.....	38
1.2.5 MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION AND KOH REACTION.....	39
1.2.6 MOLECULAR IDENTIFICATION.....	40
1.3 RESULTS.....	40
1.3.1 ISOLATION AND IDENTIFICATION OF FUNGI	40
1.3.2 PHYLOGENETIC RELATIONSHIP ANALYSIS.....	41
1.3.3 PATHOGENICITY OF FUNGAL ISOLATES	41
1.3.4 LACCASE PRODUCTION.....	43
1.4 DISCUSSION	48
REFERENCES.....	50
CHAPTER 2 - CHARACTERIZATION OF CERATOCYSTIS WILT ON EUCALYPTUS AND ITS CAUSAL AGENT	57
1.1 INTRODUCTION	58
1.2 MATERIALS AND METHODS.....	59
1.2.1 STUDIED AREA.....	59
1.2.2 CHARACTERIZATION OF SYMPTOMS AND DETECTION OF THE PATHOGEN.....	60
1.2.3 CHARACTERIZATION OF ISOLATES.....	60
1.2.3 AGGRESSIVENESS OF ISOLATES ON EUCALYPTUS CLONES.....	61
1.2.4 MOLECULAR IDENTIFICATION OF CERATOCYSTIS ISOLATES	62
1.3 RESULTS.....	64
1.3.1 SYMPTOMS OF CERATOCYSTIS WILT.....	64
1.3.2 PATHOGENICITY OF CERATOCYSTIS ISOLATES.....	68

1.3.3	MOLECULAR AND MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF <i>CERATOCYSTIS</i> ISOLATES	68
1.3.4	TEMPERATURE IN THE GROWTH OF ISOLATES	71
1.4	DISCUSSION.....	71
	REFERENCES	75
	CHAPTER 3 - GROWTH AND PULP PRODUCTION OF EUCALYPTUS TREES AFFECTED BY CERATOCYSTIS WILT.....	81
1.1	INTRODUCTION.....	82
1.2	MATERIALS AND METHODS	84
1.2.1	STUDY AREA	84
1.2.2	SAMPLING METHOD	84
1.2.3	IMPACT ON THE PULPING PROCESS.....	86
1.3	RESULTS	87
1.3.1	INTERNAL SYMPTOMS OF DISEASED TREES	87
1.3.2	IMPACT ON GROWTH.....	87
1.3.3	IMPACT ON PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF EUCALYPTUS WOOD AND ON THE PULPING PROCESS	87
1.4	DISCUSSION.....	91
	REFERENCES	94
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
	REFERÊNCIAS	99

INTRODUÇÃO GERAL

Eucalipto é o nome popular dado a árvores relacionadas a três gêneros de espécies arbóreas, *Eucalyptus*, *Corymbia* e *Angophora*, todos pertencem à família Myrtaceae e são originários da Oceania, mais marcadamente da Austrália (FLORES, 2016; MACPHAIL; THORNHILL, 2016; THORNHILL et al., 2019). No Brasil, os dois primeiros gêneros são os mais cultivados, sendo estabelecidos na forma de plantios comerciais, destinados, principalmente, para produção de madeira (DA FONSECA et al., 2010; FLORES, 2016). O lenho produzido por essas árvores pode ser usado na construção civil, fabricação de painéis e móveis, produção de carvão vegetal e extração de celulose visando principalmente a indústria do papel (DA FONSECA et al., 2010; IBÁ, 2020; 2021). Além do potencial madeireiro, algumas espécies desses gêneros são utilizadas também como fonte de pólen e néctar para o setor apícola (WOLFF; SCHNELL; SCHUHLLI, 2021) e de biomassa vegetal para extração de óleo essencial (DA SILVEIRA; LAZZAROTTO, 2021).

No Brasil, essa árvore foi introduzida no final do século XIX, nos estados do Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo, principalmente com finalidade ornamental (FLORES, 2016). Atualmente, o principal uso do eucalipto é na produção de celulose, sendo o Brasil classificado, no ano de 2020, como maior exportador dessa matéria prima, arrecadando, nesse ano, 9,8 bilhões de dólares (DA FONSECA et al., 2010; IBÁ, 2020; 2021). Os principais destinos dessa exportação são a China e o Estados Unidos, compreendendo 48% e 16% do total de celulose exportado, respectivamente (IBÁ, 2021). O principal gênero de eucalipto utilizado para produção de celulose é o *Eucalyptus* (DA FONSECA et al., 2010), cujos plantios, no Brasil, em 2020, cobriam 7,47 milhões de hectares plantados visando o setor industrial (IBÁ, 2021).

Por conta de sua ampla variabilidade genética, abrangendo mais de 800 espécies (FLORES, 2016), o gênero *Eucalyptus* pode ser cultivado em praticamente todos os estados brasileiros (IBÁ, 2021), abrangendo regiões que apresentam climas que variam entre o tropical, semiárido e equatorial. De acordo com a condição ambiental em que será estabelecido o plantio, pode-se selecionar espécies ou cruzamentos mais adequados ao local escolhido, resultando em maior produtividade. No ano de 2020 os estados de Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Bahia

e Rio Grande do Sul apresentavam a maior área plantada dessa cultura no território nacional, abrigando também importantes empresas florestais (IBÁ, 2021).

A produtividade média anual do eucalipto, no ano de 1965, era de apenas 10m³/ha, contudo, no ano de 2020, esse valor saltou para 36,8m³/ha, podendo ser superior a 60,0m³/ha em algumas áreas (ALFENAS et al., 2009; DA FONSECA et al., 2010). Esse aumento de produtividade se deve principalmente aos programas de melhoramento genético, que deram início à realização de cruzamentos interespecíficos e da seleção de genótipos superiores, e da realização de clonagem em larga escala; possibilitando o estabelecimento de plantios homogêneos e altamente produtivos. Um considerável destaque pode ser dado ao cruzamento de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, popularmente chamado de Urograndis, que une características de ambas as espécies, como o alto crescimento da primeira espécie e a rusticidade, maior densidade da madeira e capacidade de rebrota da segunda (ALFENAS et al., 2009; DA FONSECA et al., 2010). Esse híbrido é um dos mais cultivados no Brasil.

O eucalipto utilizado para produção de celulose pode ser cortado em ciclos que variam de 6 a 7 anos, que, dependendo da área e do clone, pode ser reduzido para até 5 anos (SKORUPA; BEHLING; PORFIRIO-DA-SILVA, 2021). Uma vez estabelecido o plantio para essa finalidade, o mesmo pode ser conduzido em regime de talhadia, permitindo que a floresta seja restabelecida através da condução das brotações após o corte raso. Essa forma de manejo reduz os custos de implantação em até 50% (SKORUPA; BEHLING; PORFIRIO-DA-SILVA, 2021). Plantios estabelecidos visando à produção de madeira podem ter ciclos que ultrapassam 12 anos (DA FONSECA et al., 2010; SKORUPA; BEHLING; PORFIRIO-DA-SILVA, 2021).

De forma geral, o cultivo do eucalipto é visto como alternativa para redução da pressão de exploração das florestas nativas, principalmente para a produção de carvão vegetal (PINTO JÚNIOR; SILVEIRA, 2021). Essa árvore pode também ser utilizada como fonte de renda em pequenas propriedades (DE OLIVEIRA et al., 2021) e de sombra em sistemas silvipastoris (SKORUPA; BEHLING; PORFIRIO-DA-SILVA, 2021). Seu uso pode ser feito também na recuperação de solos, por ser uma árvore rústica, auxiliando no aumento da fertilidade do solo, pela incorporação de matéria

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O atual trabalho melhora a compreensão dos danos relacionados à murcha de ceratocystis em eucalipto, assim como do agente causal no Brasil e a sintomatologia da doença. Segundo nossos resultados, árvores de eucalipto doentes devido a murcha de ceratocystis podem permanecer vivas até o final do ciclo (7 anos), sendo que a penetração do patógeno ocorreu via sistema radicular na área estudada. A murcha de ceratocystis impactou negativamente no crescimento de árvores de eucalipto doentes, contudo não foi observado impacto na polpação quando amostradas árvores inteiras de eucalipto doentes. Observamos também que fungos de diferentes gêneros podem estar associados aos mesmos sintomas caulinares em árvores de eucalipto, sendo que alguns podem estar diretamente ou indiretamente associados aos sintomas, enquanto outros podem ser endofíticos ou saprófitos.

REFERÊNCIAS

- AGUSTINI, L. et al. Signs and identification of fungal root-rot pathogens in tropical *Eucalyptus pellita* plantations. **Forest Pathology**, v, 44, n. 6, p. 486-495, 2014.
- ALFENAS, C.A. et al. **Clonagem e Doenças do Eucalipto**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora da UFV, 2009.
- AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A. **Manual de Fitopatologia**: Volume 1 - Princípios e Conceitos. 5. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, 2018.
- ARAÚJO, J.C.P.; et al. Influência da madeira com fungo *Ceratocystis fimbriata* no processo de produção de celulose e qualidade da celulose. **O Papel**, v. 68, n. 12, p. 95-105, 2007.
- ARRIEL, D.A.A. et al. Wilt and die-back of *Eucalyptus* spp. caused by *Erwinia psidii* in Brazil. **Forest Pathology**, v. 44, n. 4, p. 255-265, 2014.
- AUER, C.G.; DOS SANTOS, A.F.; HALFELD-VIEIRA, B. de A. A podridão do cerne em árvores vivas no Brasil. **Tropical Plant Pathology**, v. 37, 2012.
- AUER, C.G.; SANTOS, A.F.; FURTADO, E.L. Doenças do Eucalipto. In: AMORIM, L. et al. **Manual de Fitopatologia**: Volume 2 - Doença das plantas cultivadas. 5. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, 2016. cap. 37, p. 359-372.
- AYLWARD, J. et al. *Teratosphaeria* stem canker of *Eucalyptus*: two pathogens, one devastating disease. **Molecular Plant Pathology**, v. 20, n. 1, p. 8-19, 2019.
- BAKER, C.J. et al. Genetic variability and host specialization in the Latin American clade of *Ceratocystis fimbriata*. **Phytopathology**, v. 93, p. 1274-1284, 2003.
- BARNES, I. et al. *Ceratocystis pirilliformis*, a new species from *Eucalyptus nitens* in Australia. **Mycologia**, v. 95, n. 5, p. 865-871, 2003.

BARRADAS, C. et al. Impact of *Botryosphaeria*, *Diplodia* and *Neofusicoccum* species on two *Eucalyptus* species and a hybrid: From pathogenicity to physiological performance. **Forest Pathology**, v. 49, n. 2, 2019.

BIGGS, A.R. Anatomical and physiological responses of bark tissues to mechanical injury. In: BLANCHETTE, R.A.; BIGGS, A.R. **Defense mechanisms of woody plants against fungi**. Berlin: Springer Heidelberg, 1992. p. 13-40.

BLANCHETTE, R.A. A review of microbial deterioration found in archeological wood from different environments. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 46, n. 3, p. 189-204, 2000.

CAIRES, N.P. et al. Host range of *Erwinia psidii* and genetic resistance of *Eucalyptus* and *Corymbia* species to this pathogen. **Forest Pathology**, v. 49, n. 4, 2019.

CARSTENSEN, G.D.; et al. Two *Ralstonia* species associated with bacterial wilt of *Eucalyptus*. **Plant Pathology**, v. 66, n. 3, p. 393-403, 2017.

CHEN, S.F. et al. Taxonomy and pathogenicity of *Ceratocystis* species on *Eucalyptus* trees in South China, including *C. chinaeucensis* sp. nov. **Fungal Diversity**, v. 58, p. 267-279, 2013.

CLÉRIVET, A. et al. Tyloses and gels associated with cellulose accumulation in vessels are responses of plane tree seedlings (*Platanus acerifolia*) to the vascular fungus *Ceratocystis fimbriata* f. sp. *platani*. **Trees**, v. 15, p. 25-31, 2000.

COUTINHO, T.A. et al. A new shoot and stem disease of *Eucalyptus* species caused by *Erwinia psidii*. **Australasian Plant Pathology**, v. 40, p. 55-60, 2011.

COUTINHO, T.A.; WINGFIELD, M.J. *Ralstonia solanacearum* and *R. pseudosolanacearum* on *Eucalyptus*: Opportunists or Primary Pathogens? **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 2017.

CROUS, P.W et al. Co-occurring species of *Teratosphaeria* on *Eucalyptus*. **Persoonia**, v. 22, p. 38-48, 2009.

DA FONSECA, S.M. et al. **Manual Prático de Melhoramento Genético do Eucalipto**. 1. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2010.

DA SILVA, A.C. et al. Eucalypt plants are physiologically and metabolically affected by infection with *Ceratocystis fimbriata*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 123, p. 170-179, 2018.

DA SILVA, A.C. et al. Responses of resistant and susceptible hybrid clones of *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* to infection by *Ceratocystis fimbriata*. **Annals of Forest Science**, v. 77, 2020.

DA SILVEIRA, A.C.; LAZZAROTTO, M. Óleos essenciais de espécies de eucaliptos. *In*: OLIVEIRA, E. B. de; PINTO JUNIOR, J. E. **O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento**. Colombo, PR: Embrapa Floresta, 2021. cap. 18, p. 723-750.

DAHALI, R. et al. Influence of *Chrysosporthe deuterocubensis* Canker Disease on the Physical and Mechanical Properties of *Eucalyptus urograndis*. **Forests**, v. 12, n. 5, 2021.

DE ALONSO, S.K. et al. Isolamento e seleção de fungos causadores da podridão branca da madeira em florestas de *Eucalyptus* spp. com potencial de degradação de cepas e raízes. **Revista Árvore**, v.31, n.1, p.145-155, 2007.

DE BEER, Z.W. et al. Redefining *Ceratocystis* and allied genera. **Studies in Mycology**, v. 79, p. 187-219, 2014.

DE OLIVEIRA, E.B. et al. Eucalipto para restauração florestal com renda para propriedades rurais familiares. *In*: OLIVEIRA, E. B. de; PINTO JUNIOR, J. E. **O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento**. Colombo, PR: Embrapa Floresta, 2021. cap. 15, p. 667-684.

DHARMARAJ, K. et al. A New Real-Time PCR Assay for Detecting Fungi in Genus *Ceratocystis*. **Plant Disease**, v. 106, n. 2, p. 661-668, 2022.

DUCHESNE, L.C.; HUBBES, M.; JENG, R.S. Biochemistry and molecular biology of defense reactions in the xylem of angiosperm trees. *In*: BLANCHETTE, R.A.; BIGGS, A.R. **Defense mechanisms of woody plants against fungi**. Berlin: Springer Heidelberg. Berlin: Springer Heidelberg, 1992. p. 133-146.

ENGELBRECHT, C.J.; HARRINGTON, T.C. Intersterility, morphology and taxonomy of *Ceratocystis fimbriata* on sweet potato, cacao and sycamore. **Mycologia**, v. 97, n. 1, p. 57-69, 2005.

FERNANDES, B.V. et al. Damage and Loss Due to *Ceratocystis fimbriata* in *Eucalyptus* Wood for Charcoal Production. **BioResources**, v. 9, n. 3, p. 5473-5479, 2014.

FERREIRA, E.M. et al. Genetic diversity and interfertility among highly differentiated populations of *Ceratocystis fimbriata* in Brazil. **Plant Pathology**, v. 59, p. 721-735, 2010.

FERREIRA, E.M. et al. Spatial-temporal patterns of *Ceratocystis* wilt in *Eucalyptus* plantations in Brazil. **Forest Pathology**, v. 43, n. 2, 2013.

FERREIRA, F.A. et al. Sintomatologia da murcha de *Ceratocystis fimbriata* em eucalipto. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 155-162, 2006.

FERREIRA, F.A.; MAFFIA, L.; FERREIRA, E. Rapid detection of *Ceratocystis fimbriata* in infected wood of eucalyptus, mango, and other woody hosts. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, n. 5, p. 543-545, 2005.

FERREIRA, F.A.; MILANI, D. **Diagnose Visual e Controle das Doenças Abióticas e Bióticas do Eucalipto no Brasil**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2012.

FERREIRA, M.A. et al. Movement of Genotypes of *Ceratocystis fimbriata* Within and Among Eucalyptus Plantations in Brazil. **Phytopathology**, v. 101, n. 8, p. 1005-1012, 2011.

FERREIRA, M.A.; ALFENAS, A.C.; MAFIA, R.G. *Ceratocystis fimbriata* em espécies florestais e agronômicas no Brasil. In: DOS SANTOS, B.A. et al. **Patologia florestal: desafios e perspectivas**. 1. ed. São Carlos, SP: Suprema Gráfica e Editora, 2013. cap. 3. p. 75-95.

FIRMINO, A.C. et al. *Ceratocystis fimbriata* causando murcha em atemóia na região de Botucatu-SP. **Summa phytopathologica**, v. 38, n. 2, p. 1825, 2012.

FIRMINO, A.C. et al. Colonização do xilema de eucalipto por *Ceratocystis* spp. isolado de diferentes hospedeiros. **Summa Phytopathologica**, v. 41, n. 2, p. 138-143, 2015.

FIRMINO, A.C. et al. First report of *Ceratocystis fimbriata* causing fruit-rot of *Passiflora edulis* in Brazil. **New Disease Reports**, v. 27, n. 1, p. 4-4, 2013.

FIRMINO, A.C. et al. First report of *Ceratocystis fimbriata* causing wilt on *Khaya senegalensis*. **New Disease Reports**, v. 35, p. 35-35, 2017.

FIRMINO, A.C.; TOZZE JUNIOR, H.; FURTADO, E.L. First report of *Ceratocystis fimbriata* causing wilt in *Tectona grandis* in Brazil. **New Disease Reports**, v. 25, n. 1, 2012.

FLORES, T.B. *Eucalyptus no Brasil: Zoneamento Climático e Guia para Identificação*. Piracicaba, SP: IPEF, 2016.

FONSECA, N.R. et al. Molecular characterization of *Ralstonia solanacearum* infecting *Eucalyptus* spp. in Brazil. **Forest Pathology**, 2013.

FOURIE, A. et al. Molecular markers delimit cryptic species in *Ceratocystis* sensu stricto. **Mycological Progress**, v. 11, 2015.

FREITAS, R.G. Detection and characterization of *Ralstonia pseudosolanacearum* infecting *Eucalyptus* sp. in Brazil. **Forest Pathology**, v. 50, n. 3, 2020.

GRYZENHOUT, M. et al. *Chrysoporthe doradensis* sp. nov. pathogenic to *Eucalyptus* in Ecuador. **Fungal Diversity**, v. 20, p. 39–57, 2005.

HALFELD-VIEIRA, B. First record of *Ceratocystis fimbriata* on *Carapa guianensis*. **New Disease Reports**, v. 26, n. 1, p. 13, 2012.

HALSTED, B.D. Some fungous diseases of the sweet potato. **New Jersey Agricultural College Experiment Station Bulletin**, v. 76, p. 1-32, 1890.

HARRINGTON, T.C. et al. Intraspecific and intragenomic variability of ITS rDNA sequences reveals taxonomic problems in *Ceratocystis fimbriata* sensu stricto. **Mycologia**, v. 106, n. 2, p. 224-242, 2014.

HEATH, R.N. et al. *Ceratocystis* species on *Acacia mearnsii* and *Eucalyptus* spp. in eastern and southern Africa including six new species. **Fungal Diversity**, v. 34, p. 41-68, 2009.

HULCR, J.; STELINSKI, L.L. The Ambrosia Symbiosis: From Evolutionary Ecology to Practical Management. **Annual Review of Entomology**, v. 62, p. 285-303, 2016.

IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2019**. Brasília: IBÁ, 2020.

IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2020**. Brasília: IBÁ, 2021.

KAMGAN NKUEKAM G. et al. *Ceratocystis* and *Ophiostoma* species, including three new taxa, associated with wounds on native South African trees. **Fungal Diversity**, v. 29, p. 37-59, 2008.

KAMGAN NKUEKAM G. et al. *Ceratocystis* species, including two new species associated with nitidulid beetles on *Eucalyptus* in Australia. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 101, n. 2, p. 217-241, 2011.

KILE, G.A. et al. *Ceratocystis eucalypti* sp. nov., a vascular stain fungus from eucalypts in Australia. **Mycological Research**, v. 100, n. 5, p. 571-579, 1996.

LAIA, M. L.; ALFENAS, A.C.; HARRINGTON, T.C. Isolation, detection in soil, and inoculation of *Ceratocystis fimbriata*, causal agent of wilting, die-back and canker in *Eucalyptus*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 25, p. 384-384, 2000.

LI, G.Q. et al. Botryosphaeriaceae from *Eucalyptus* plantations and adjacent plants in China. **Persoonia**, v. 40, p. 63-95, 2018.

LI, G.Q. et al. Variation in Botryosphaeriaceae from *Eucalyptus* plantations in YunNan Province in southwestern China across a climatic gradient. **IMA Fungus**, v. 11, n. 22, 2020.

LIU, F. et al. New *Ceratocystis* species from *Eucalyptus* and *Cunninghamia* in South China. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 107, p. 1451-1473, 2015.

LOPEZ-REAL, J.M. Formation of pseudosclerotia ('zone lines') in wood decayed by *Armillaria mellea* and *Stereum hirsutum*: I. Morphological aspects. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 64, n. 3, p. 465-471, 1975.

MACPHAIL, M.; THORNHILL, A.H. How old are the eucalypts? A review of the microfossil and phylogenetic evidence. **Australian Journal of Botany**, v. 64, p. 579-599, 2016.

MAFIA, R.G. et al. Impact of *Ceratocystis* wilt on eucalyptus tree growth and cellulose pulp yield. **Forest Pathology**, v. 43, n. 5, p. 379-385, 2013.

MAIA, C.M.B.DE F. et al. Serviços ecossistêmicos e eucalipto. In: OLIVEIRA, E. B. de; PINTO JUNIOR, J. E. **O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de**

pesquisa e desenvolvimento. Colombo, PR: Embrapa Floresta, 2021. cap. 14, p. 611-666.

MARINCOWITZ, S. et al. Epitypification of *Ceratocystis fimbriata*. **Fungal Systematics and Evolution**, v. 6, n. 1, p. 289-298, 2020.

MARIN-FELIX, Y. et al. Genera of phytopathogenic fungi: GOPHY 1. **Studies in Mycology**, v. 86, p. 99-216, 2017.

MBENOUN, M. et al. Molecular phylogenetic analyses reveal three new *Ceratocystis* species and provide evidence for geographic differentiation of the genus in Africa. **Mycological Progress**, v. 13, p. 219-240, 2013.

MÉNDEZ-ÁLVAREZ, D. et al. First report of *Ceratocystis fimbriata* causing wilt on *Gmelina arborea* in Costa Rica. **Forest Pathology**, v. 50, n. 5, 2020.

MOLLER, W.J.; DEVAY, J.E. Carrot as a species-selective medium for *Ceratocystis fimbriata*. **Phytopathology**. v. 58, p. 123-124, 1968.

MORRIS, H. et al. The dark side of fungal competition and resource capture in wood: Zone line spalting from science to application. **Materials & Design**, v. 201, 2021.

MORRIS, M.J., WINGFIELD, M.J.; DE BEER, C. Gummosis and wilt of *Acacia mearnsii* in South Africa caused by *Ceratocystis fimbriata*. **Plant Pathology**, v. 42, n. 5, p. 814-817, 1993.

OLIVEIRA, L.S.S. et al. Aggressiveness, cultural characteristics and genetic variation of *Ceratocystis fimbriata* on *Eucalyptus* spp. **Plant Pathology**, v. 45, n. 6, p. 505-514, 2015.

OLIVEIRA, L.S.S. et al. *Ceratocystis fimbriata* isolates on *Mangifera indica* have different levels of aggressiveness. **European Journal of Plant Pathology**, v. 145, p. 847-856, 2016.

PAUL, N.C. et al. Characterization and pathogenicity of sweet potato (*Ipomoea batatas*) black rot caused by *Ceratocystis fimbriata* in Korea. **European Journal of Plant Pathology**, v. 152, p. 833-840, 2018.

PAVLIC-ZUPANC, D. et al. Diversity, phylogeny and pathogenicity of Botryosphaeriaceae on non-native *Eucalyptus* grown in an urban environment: A case study. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 26, p. 139-148, 2017.

PILLAY, K. et al. Diversity and distribution of co-infecting Botryosphaeriaceae from *Eucalyptus grandis* and *Syzygium cordatum* in South Africa. **South African Journal of Botany**, v. 84, p. 38-43, 2013.

PIMENTA, L. et al. Physiological responses of *Eucalyptus* spp. hybrids to infection by *Ceratocystis fimbriata*. **Forest Pathology**, v. 47, n. 4, 2017.

PINTO JÚNIOR, J.E.; SILVEIRA, R.A. A introdução do eucalipto no Brasil pela Embrapa: bases institucionais e sua estruturação para a pesquisa com eucaliptos e corímbias. In: OLIVEIRA, E. B. de; PINTO JUNIOR, J. E. **O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento**. Colombo, PR: Embrapa Floresta, 2021. cap. 1, p. 33-112.

PIVETA, G. et al. *Ceratocystis fimbriata* on Kiwifruit (*Actinidia* spp.) in Brazil. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 44, n. 1, p. 13-24, 2016.

RAUF, M.R.B.A. et al. Pathogenicity of *Chrysosporthe deuterocubensis* and *Myrtoporthe bodenii* gen. et sp. nov. on *Eucalyptus* in Sabah, Malaysia. **Australasian Plant Pathology**, v. 49, p. 53-64, 2020.

RODAS, C.A. et al. *Ceratocystis neglecta* sp. nov. infecting *Eucalyptus* trees in Colombia. **Fungal Diversity**, v. 28, p. 73-84, 2008.

ROSADO, C.C.G. et al. QTL mapping for resistance to *Ceratocystis* wilt in *Eucalyptus*. **Tree Genetics & Genomes**, v. 12, p. 62-72, 2016.

ROUX, J. et al. *Ceratocystis* species infecting stem wounds on *Eucalyptus grandis* in South Africa. **Plant Pathology**, v. 53, n. 4, p. 414-421, 2004.

SKORUPA, L.A.; BEHLING, M.; PORFIRIO-DA-SILVA, V. O eucalipto e os desafios para a transferência de tecnologias em sistemas de integração lavourapecuária-floresta (ILPF). In: OLIVEIRA, E. B. de; PINTO JUNIOR, J. E. **O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento**. Colombo, PR: Embrapa Floresta, 2021. cap. 35, p. 1147-1160.

SOARES, T.P.F. et al. Canker disease caused by *Chrysosporthe doradensis* and *C. cubensis* on *Eucalyptus* sp. and *Tibouchina* spp. in Brazil. **Tropical Plant Pathology**, v. 43, p. 314-322, 2018.

THORNHILL, A.H. et al. A dated molecular perspective of eucalypt taxonomy, evolution and diversification. **Australian Systematic Botany**, v. 32, p. 29-48, 2019.

TUMURA, K.G.; PIERE, C.D.; FURTADO, E.L. Murcha por *Ceratocystis* em eucalipto: avaliação de resistência e análise epidemiológica. **Summa Phytopathologica**, v. 38, n. 1, p. 54-60, 2012.

UMAMI, M.; PARKER, L.; ARNDT, S. The impacts of drought stress and *Phytophthora cinnamomi* infection on short-term water relations in two-year-old *Eucalyptus obliqua*. **Forests**, v. 12, n. 2, p. 1-14, 2021.

VALDETARO, D.C.O.F. et al. host specialized form of *Ceratocystis fimbriata* causes seed and seedling blight on native *Carapa guianensis* (andiroba) in Amazonian rainforests. **Fungal Biology**, v. 123, p. 170-182, 2019.

VAN WYK, M. et al. *Ceratocystis atrox* sp. nov. associated with *Phoracantha acanthocera* infestations on *Eucalyptus grandis* in Australia. **Australasian Plant Pathology**, v. 36, p. 407-414, 2007.

VAN WYK, M. et al. *Ceratocystis eucalypticola* sp. nov. from *Eucalyptus* in South Africa and comparison to global isolates from this tree. **IMA Fungus**, v. 3, p. 45-58, 2012.

WINGFIELD, B, et al. *Ceratocystis*: emerging evidence for discrete generic boundaries. **CBS Biodiversity Series**, v. 12, p. 57-64, 2013.

WOLFF, L.F.; SCHNELL, G.; SCHUHLLI. Eucaliptos e abelhas. *In*: OLIVEIRA, E. B. de; PINTO JUNIOR, J. E. **O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento**. Colombo, PR: Embrapa Floresta, 2021. cap. 16, p. 685-701.

ZAUZA, E.A.V. et al. Resistance of *Eucalyptus* clones to *Ceratocystis fimbriata*. **Plant Disease**: Saint Paul, v. 88, n. 98, p. 758-760, 2004.