

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
BACHARELADO EM BIOTECNOLOGIA

**POTENCIAL DE FUNGOS ENDOFÍTICOS NO CONTROLE DE DOENÇAS
PÓS-COLHEITA DE FRUTAS**

MARIANA DE PAULA GOMES

SÃO CARLOS
2021

FEDERAL UNIVERSITY OF SÃO CARLOS
BACHELOR IN BIOTECHNOLOGY

**POTENTIAL POSTHARVEST DISEASES CONTROL OF FRUITS BY ENDOPHYTIC
FUNGI**

MARIANA DE PAULA GOMES

SÃO CARLOS
2021

MARIANA DE PAULA GOMES

**POTENCIAL DE FUNGOS ENDOFÍTICOS NO CONTROLE DE DOENÇAS
PÓS-COLHEITA DE FRUTAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de bacharelado em Biotecnologia, da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título bacharel em Biotecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Teixeira Lacava

SÃO CARLOS
2021

MARIANA DE PAULA GOMES

**POTENCIAL DE FUNGOS ENDOFÍTICOS NO CONTROLE DE DOENÇAS
PÓS-COLHEITA DE FRUTAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de bacharelado em Biotecnologia, da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título bacharel em Biotecnologia.

BANCA EXAMINADORA

Local: Apresentação Remota

Horário: 14h

Data: 18/06/2021

Prof. Dr. Marcos David Ferreira

Prof^a Dr^a Andréa Cristina Bogas

SÃO CARLOS
2021

A pandemia traz tempos difíceis e imprevisíveis aos quais precisamos nos adaptar a cada dia. O presente trabalho teórico foi fruto de um esforço em condições adversas que, apesar de não permitir um estudo experimental, possibilitou a continuidade do trabalho.

Todo meu amor à minha família que sempre esteve ao meu lado. Minha mãe Andrea de Paula Roberto e meu pai Paulo Gomes Júnior que sempre acreditaram no poder e alcance da educação.

Em tempos difíceis é preciso resistir para prosseguir. A ciência e a educação são pilares fundamentais para estruturação do presente e construção do futuro e me orgulho de poder fazer parte deles.

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho à minha jornada no curso de biotecnologia, que por meio dele busco colaborar com a ciência brasileira.

Meus sinceros agradecimentos ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Lacava pela amizade e suporte em todo o desenvolvimento do trabalho. A todos os professores que fizeram parte da minha formação. Ao secretário do curso Rodrigo Roberto Malimpensa e à coordenadora do curso Prof^ª Dr^ª Maria Cristina Pranchevicius.

Aos membros da banca avaliadora, Prof^ª Dr^ª Andréa Cristina Bogas e Prof. Dr. Marcos David Ferreira, meus agradecimentos.

Sou grata pela minha família e amigos por todo o apoio.

Aos meus pais que sempre acreditaram e incentivaram meu potencial.

Aos meus irmãos Alice e André Gomes pela amizade e apoio.

Agradeço meus amigos Josemar Oliveira e Guilherme Cruz que me ajudaram e apoiaram no desenvolvimento do trabalho.

RESUMO

Perdas pós-colheitas são significativas quanto ao aproveitamento de produções agrícolas e geram anualmente grande desperdício de alimentos num mundo constantemente afetado pela fome e insegurança alimentar. Além disso, cada vez mais busca-se alternativas sustentáveis que substituam ou reduzam métodos tradicionais de controle de doenças pós-colheita baseados em compostos químicos sintéticos que podem ser prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente.

Fungos endofíticos têm sido alvo de vários estudos por suas diversas aplicações biotecnológicas. Microrganismos endofíticos já são utilizados atualmente como fonte de proteção contra doenças incidentes no campo em relação a culturas agrícolas de interesse econômico. A diversidade desses fungos tais como sua ampla produção de compostos bioativos fomentam maior investigação e aprofundamento nessa alternativa e expansão para novos âmbitos, como o pós-colheita.

Neste trabalho foi realizado um levantamento bibliográfico visando avaliar o potencial do uso de fungos endofíticos e seus produtos no controle de patógenos causadores de doenças pós-colheita de frutas.

De forma geral, estudos *in vivo* e *in vitro* evidenciaram o uso de endófitos como agentes eficientes de biocontrole pós-colheita devido à atividade antifúngica constatada contra os principais patógenos atuantes neste período de manejo. Assim, os fungos endofíticos oferecem um método alternativo de controle de doenças mais sustentável, podendo substituir ou reduzir o uso de fungicidas sintéticos.

ABSTRACT

Postharvest losses are significant to the agricultural production yield and generate a considerable amount of food losses every year in a world constantly affected by starvation and food unsafety. Moreover, sustainable alternatives are increasingly sought for replacing or reducing conventional methods of postharvest diseases control based on synthetic chemical compounds, which may be harmful to human health and environment.

Endophytic fungi has been the subject of several studies for its diverse biotechnological appliance. Endophytic microbes are widely used as a protection against field disease incidence of crops with economic interests. The fungal assortment such as its wealthy bioactive compounds promote a deeper investigation about this alternative and expansion for new areas as postharvest. At this study, a bibliographic survey was accomplished aiming to evaluate endophytic fungi potential and its products in the control of postharvest fruits pathogens.

In general, *in vivo* and *in vitro* studies revealed the efficiency of endophytic fungi as post-harvest biocontrol agents due its antifungal activity observed against the main pathogens of this management period. Therefore, the endophytic fungi offer an alternative disease control method more sustainable with the possibility of replacing or reducing synthetic fungicide appliances.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estudos *in vivo* selecionados para revisão, organizados em fungo endofítico analisado, planta hospedeira do fungo, patógeno ou doença alvo, fruto acometido e referência do estudo. 18-22

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição de artigos selecionados para cada biblioteca digital consultada. 17

Figura 2: Quantidade de estudos selecionados para revisão em cada ano desde 2001 até 2021. 18

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 Agricultura e Pós-colheita	8
1.2 Controle biológico	10
1.3 Fungos endofíticos	11
1.4 Metabólitos	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivos gerais	16
2.2 Objetivos específicos	16
3 MÉTODOS	16
3.1 Busca bibliográfica	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1 Levantamento bibliográfico	17
4.2 Seleção de artigos	18
4.3 Análise da atividade no controle pós-colheita dos fungos endofíticos	22
4.3.1 <i>Muscodor sp.</i>	22
4.3.2 <i>Nodulisporium sp.</i>	28
4.3.3 <i>Fusarium sp.</i>	30
4.3.4 <i>Penicillium sp.</i>	31
4.3.5 <i>Daldinia sp.</i>	31
4.3.6 <i>Oxyporus latemarginatus</i>	33
4.3.7 <i>Trichoderma sp.</i>	34
4.3.8 <i>Chaetomium sp.</i>	35
4.3.9 <i>Phomopsis cassiae</i>	36
4.3.10 <i>Phialocephala sphaeroides e Cryptosporiopsis ericae</i>	37
4.3.11 <i>Phaeosphaeria nodorum</i>	37
4.3.12 <i>Aspergillus fumigatus</i>	37
4.3.13 Fungos endofíticos não identificados	38
5 CONCLUSÕES	38
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1 INTRODUÇÃO

1.1 Agricultura e Pós-colheita

Uma das grandes preocupações enfrentadas no mundo atual a respeito ao futuro do planeta e seus cidadãos é devido ao grande aumento populacional. Tal crescimento gera sérios impactos, sendo um deles na alimentação mundial (ALEXANDRATOS & BRUINSMA, 2012). De acordo com a *Food and Agriculture Organization* das Nações Unidas, até o ano de 2050 a demanda por alimento e produtos agrícolas aumentará cerca de 70%, e com ela grandes consequências à estrutura agrícola atual (KIAYA, 2014). Cada vez mais são necessárias tecnologias e inovações para acompanhar o acelerado crescimento e demanda na Agricultura (ANNEX, 2012). Além da necessidade de inovação e tecnologia para atender a demanda mundial, conferências e comissões ao longo de anos vêm comprometendo países com a responsabilidade de equilibrar desenvolvimento e sustentabilidade (SCHENBERG, 2010). As ações da maioria dos países têm priorizado o aumento da produção, subestimando perdas e desperdícios (KUMAR & KALITA, 2017). Dos dias de hoje até os mais adiantes, um dos maiores desafios globais está na ligação da busca por maior suprimento de alimento com o desenvolvimento sustentável atrelado a ele, um cenário não só favorável ao uso da biotecnologia mas que torna a área fundamental (KIAYA, 2014; CONFORTI et al., 2011).

Diante da grande demanda mundial por alimentos, um dos principais problemas está na grande perda de produtos até a chegada ao consumidor (KIAYA, 2014). Anualmente, são perdidos cerca de um terço dos alimentos produzidos em todo o mundo (SAWICKA, 2019). Estima-se uma perda de 30 a 50% de frutas e vegetais em países desenvolvidos. Só em processos envolvidos no período pós-colheita ocorre a perda de mais de um terço dos produtos (SAWICKA, 2019). Devido a natureza viva de frutas e vegetais, fatores como umidade relativa, temperatura, infecções por microrganismos e até composição atmosférica alteram a vida de prateleira desses produtos. A deterioração pode ser causada por danos físicos, patógenos, distúrbios

fisiológicos, perda de nutrientes e vitaminas, dentre outros eventos (SINGH & SHARMA, 2018).

Dentre as perdas geradas pela degradação de frutas e vegetais que não chegam até o consumidor, 50 a 60% são devido a doenças pós-colheitas (LIMA et al., 2015). Tais distúrbios ocorrem especificamente após a colheita e são causados por fatores bióticos, em sua grande maioria fungos e bactérias (BENKEBLIA et al., 2011; SINGH & SHARMA, 2018). Os microrganismos mais responsáveis são os fungos *Alternaria*, *Aspergillus*, *Botrytis*, *Colletotrichum*, *Diplodia*, *Monilinia*, *Penicillium*, *Phomopsis*, *Rhizopus*, *Mucor*, e *Sclerotinia*, e as bactérias *Erwinia* e *Pseudomonas* (SINGH & SHARMA, 2018). Em infecções latentes, mudanças drásticas das condições fisiológicas podem reativar o patógeno e levar ao desenvolvimento de doenças a longos períodos após a infecção (SINGH & SHARMA, 2018; COATES & JOHNSON, 1997). Anthracnose e Mofo Cinza em morangos são exemplos dessas doenças. Além dessas, existem doenças como Mofo Azul e Mofo Verde (*Penicillium sp.*) e Podridão Mole (*Rhizopus stolonifer*) (COATES & JOHNSON, 1997) que tem a causa relacionada a alguma injúria sofrida durante ou depois da colheita, podendo ser de origem mecânica ou causada por insetos.

O melhor caminho de controlar perdas pós-colheita é evitar injúrias por danos mecânicos por meio de sanitização e atraso do período de senescência, ainda que sejam formas limitadas (NUNES, 2012). Os principais métodos de controle de doenças pós-colheita em frutas e vegetais são de caráter físico, químico e biológico (SINGH & SHARMA, 2018). Um dos mais tradicionais e utilizados no controle de doenças pós-colheita em frutas e vegetais é a aplicação de fungicidas (COATES & JOHNSON, 1997; LASTOCHKINA et al., 2019). O método é recomendado como forma de prevenção de doenças pós-colheita, uma vez que a infecção pelo fitopatógeno ocorre geralmente em momentos anteriores à colheita e se desenvolvem posteriormente no fruto (ADASKAVEG & FÖRSTER, 2009; FELIZIANI & ROMANAZZI, 2013). Uns dos fungicidas mais utilizados deste modo têm como mecanismo de ação a inibição da biossíntese de metionina e da secreção de enzimas hidrolíticas pelo fungo (FELIZIANI & ROMANAZZI, 2013). Entretanto, tal uso gera graves consequências ao meio

ambiente e à saúde, além de promover resistência da cultura. Esses fatores reforçam ainda mais a urgência de métodos alternativos para controle de perdas (ZHANG et al., 2020; PAPOUTSIS et al., 2019).

Além da aplicação de fungicidas pré-colheita, existem tratamentos pós-colheita que protegem frutas de patógenos neste período por meio de métodos de aplicação como imersão, sprays eletrostáticos, sachês e fumigação. A fumigação com ácido acético, por exemplo, é um método efetivo de controle de *Botrytis cinerea* e *Penicillium expansum* (SHOLBERG & GAUNCE, 1995), assim como ozônio como fumigante protege uvas da doença mofo cinzento (GABLER et al., 2010). O principal fumigante é o dióxido de enxofre (SO₂) (BELLINCONTRO et al., 2017). O uso de sachês contendo o gás também têm se mostrado efetivo no controle de mofo cinzento em frutas (DOMINGUES et al., 2018; SAITO & XIAO, 2016), no entanto, apesar da efetividade, o gás oferece riscos à saúde humana (BELLINCONTRO et al., 2017).

1.2 Controle biológico

A definição de controle biológico ou produtos de biocontrole nomeia a prática de utilização de organismos ou produtos de sua origem que resultem em uma reação benéfica à cultura. O método é baseado em mecanismos naturais de controle de pragas e patógenos pela redução da propagação dos mesmos (LECOMTE et al., 2016; VILLEMARINE, COMPAGNONE, FALCONNET, 2021; DE SILVA et al., 2019).

Segundo Singh & Sharma (2018) as estratégias de biocontrole mais viáveis no controle pós-colheita são: indução de resistentes, produtos naturais de plantas e o uso de microrganismos antagonistas. Como plantas são uma grande fonte de microrganismos e produtos naturais, o controle biológico cada vez mais se destaca como alternativa mais sustentável frente aos defensivos químicos. Além de menos nocivo ao ambiente e à saúde, o combate ao desenvolvimento de patógenos resistentes e eficiência também tornam o biocontrole um grande alvo de estudos. (USALL, TORRES, TEIXIDO, 2016; DROBY et al., 2016).

Organismos endofíticos são foco de potenciais produtos de biocontrole devido a seus benefícios ao hospedeiro, como promoção de crescimento e resistência da planta a patógenos, pragas e condições adversas (HUANG et al., 2021; DE SILVA et al., 2019). Dentre os mecanismos endofíticos mais explorados, segundo Huang et al. (2021) os mais adequados para estudo em pós-colheita são os de interação entre planta hospedeira, patógeno e antagonista endofítico e o mecanismo que inclui ainda a interação do hospedeiro, patógeno, antagonista e a microbiota do hospedeiro.

O mecanismo de antagonismo é um fenômeno natural que tem sido bastante cogitado como um produto de biocontrole. Microrganismos antagonistas - bactérias, leveduras e fungos filamentosos - produzem naturalmente compostos antifúngicos específicos, os quais inibem o crescimento e/ou metabolismo do patógeno-alvo (DUKARE et al., 2019). Alguns estudos indicam esse método como uma boa alternativa de controle de perdas pós-colheita (ZHANG et al., 2020; LASTOCHKINA et al., 2019). Inclusive, em Dukare et al. (2019), os autores citam que a aplicação após a colheita é ainda mais eficiente que a aplicação anterior. Nesse sentido, dentre bactérias e leveduras, fungos antagonistas também apresentam sucesso em controle de doenças pós-colheita de frutas, como *Trichoderma harzianum*, *T. harzianum*, *Trichoderma koningii*, *T. viride*, *T. virens*, *Verticillium lecanii*.

Ainda que bactérias e leveduras detêm uma vasta área de estudo (DROBY et al., 2016), os fungos também indicam um grande potencial a ser explorado como agente de biocontrole em pós-colheita.

1.3 Fungos endofíticos

As primeiras definições de fungos endofíticos eram relacionadas a toda comunidade fúngica viva de uma planta (STONE et al., 2004). A própria definição original de Bary em 1866 descreve como endofítico qualquer microrganismo habitante de tecidos vegetais vivos (CHAPLA; BIASETTO; ARAUJO, 2013). Do grego, em que *endo* significa dentro e *fitico*, planta, a palavra *endofítico* já introduz sua definição em

seu sentido literal (SCHULZ & BOYLE, 2006; CARUSO et al., 2020). Dentre diversas definições encontradas na literatura, a mais aceita é a que define tais microrganismos como colonizadores assintomáticos de tecidos de plantas vivas. Assim também se define os fungos endofíticos, em que pelo menos uma parte da vida mantém uma relação mutualística com a planta hospedeira (STONE et al., 2004; CHAPLA; BIASETTO; ARAUJO, 2013; ZHENG et al., 2016)

Ocupando principalmente espaços intra ou intercelulares, estes organismos podem estar presentes em várias partes da planta hospedeira, como espermosfera (em sementes), rizosfera (raízes), caulosfera (caule), filoplano (nas folhas), antosfera (nas flores) e carposfera (nas frutas) (RANA et al., 2019), mas principalmente na rizosfera e no floplano (YADAV, 2018). Estima-se que todas as espécies vegetais do planeta abrigam pelo menos um tipo de fungo endofítico, além de se distribuírem amplamente por diversas partes do mundo. (RANA et al., 2019)

Os microrganismos endofíticos podem ser divididos conforme a presença ou ausência da capacidade de desenvolver estruturas externas. As micorrizas e as bactérias fixadoras de nitrogênio por exemplo se incluem neste primeiro grupo (MISHRA et al., 2014; AZEVEDO, 2014).

Estudos reportam fungos endofíticos ocorrendo num largo espectro de filos fúngicos (YADAV, 2018), embora a maioria seja de Ascomycetos (RAI et al., 2014).

A relação simbiótica com a planta hospedeira obtida de anos de adaptação conjunta, oferece benefício mútuo (HUANG et al., 2021; RANA et al., 2019). Ao mesmo tempo que recebe nutrientes e espaço para seu crescimento e reprodução, o fungo provê à planta uma maior resistência a estresses bióticos e abióticos, além de disponibilizar compostos ativos com funções benéficas (RANA et al., 2019). Metabólitos como hormônios, vitaminas, enzimas e até antibióticos contribuem para a proteção patogênica e predatória da planta, podendo contribuir também com seu crescimento. Tais metabólitos têm grande importância biotecnológica e grande espectro de aplicação (AZEVEDO, 2014; CARUSO, 2020).

A relação entre fungo e planta hospedeira depende do equilíbrio entre os dois organismos. Estresse e condições adversas podem converter a relação mutualística em patogênica. O fungo *Fusarium oxysporum*, por exemplo, pode ser isolado como endofítico ou patógeno (SILVA, 2006).

Fungos endofíticos têm ganhado grande importância nas últimas décadas, grande parte devido à sua ampla produção de compostos ativos e suas propriedades antioxidantes, antimicrobianas, inseticidas, antitumorais, antivirais, antidiabéticas e imunossupressoras (YADAV, 2018). Sua capacidade de produzir substâncias derivadas das plantas hospedeiras promovem grande prospecção de obtenção desses agentes. Um exemplo é o taxol, importante agente anticancerígeno isolado da planta *Taxus brevifolia*. No entanto, devido ao seu crescimento lento e aos altos custos de produção, o uso de fungos endofíticos para obtenção do tetraciclina diterpeno lactama oferece uma alternativa mais viável, visto que o desenvolvimento desses organismos é mais rápido e fácil (ABDEL-AZEEM, ABDEL-AZEEM, KHALIL, 2019; ZHOU, 2010).

Estudos recentes permitem encontrar várias aplicações de tecnologias relacionadas a fungos endofíticos. Estes protagonizam inovações em áreas da saúde, farmacêutica, agricultura (DEKA, TAYUNG, JHA, 2017; YADAV, 2018) e na indústria (RANA et al., 2019; PAMPHILE et al., 2017; ZHENG et al., 2016).

O interesse biotecnológico e agrícola na utilização de fungos endofíticos é voltado principalmente aos metabólitos secundários produzidos por estes microrganismos, que além de serem explorados para promoção de crescimento, são ainda utilizados na proteção e rendimento da cultura (YADAV, 2018; RAI et al., 2014).

Neste contexto, o estudo envolvendo os fungos endofíticos inclui a motivação de encontrar uma alternativa mais sustentável e equivalente em eficiência para problemas em diversas áreas. Tal alternativa mais ecológica busca minimizar custos financeiros ao passo que reduz os custos ambientais e ecológicos de forma inovadora e confiável (RAI et al., 2014; YADAV, 2018).

1.4 Metabólitos

Os metabólitos secundários também estão em foco na busca por alternativas mais sustentáveis e seguras no combate de doenças de plantas, animais e até humanas, buscando por efetividade e combate a patógenos resistentes (PATIL, PATIL, MAHESHWARI, 2016). Além da agricultura, estão presentes no campo da medicina (SECA, PINTO, 2018), farmacêutica (KABERA et al., 2014) e ganham cada vez mais espaço e descobertas.

Metabólitos secundários produzidos por plantas são compostos químicos derivados da rota primária de metabólitos da planta (KABERA et al., 2014; HUSSEIN; EL-ANSSARY, 2018). Suas propriedades antibióticas, antifúngicas e antivirais dão consistência ao uso destes compostos como defensivos contra patógenos (HUSSEIN; EL-ANSSARY, 2018; VINALE et al., 2017). As estrobilurinas, por exemplo, são uma classe de fungicidas amplamente utilizada derivada de produtos naturais (BARTLETT et al., 2002). Para combater a ação de doenças e predação, as plantas contam com um sistema de defesa. Sinalizações dentro da planta engatilham mecanismos como indução da morte do patógeno por degradação enzimática da parede celular ou barrando sua entrada por construção de barreiras poliméricas, por exemplo. A produção de metabólitos secundários também é um mecanismo importante de proteção da planta (ZAYNAB et al., 2018; ISAH, 2019).

Assim como as plantas, os fungos endofíticos são uma grande fonte de obtenção de produtos naturais, como os metabólitos secundários. O intenso investimento na exploração da produção de compostos com atividades bioativas por tais fungos descende não apenas do potencial biossintético, mas também pela grande diversidade desses organismos, aumentando ainda mais o espectro de estudo e aplicação (GAO, LI, LOU, 2018; LUDWIG-MÜLLER, 2015). Mesmo não sendo essenciais para a sobrevivência da planta, os fungos endofíticos desempenham um papel fundamental em seu crescimento, desenvolvimento e reprodução (KABERA et al., 2014). Embora muitos fungos possam estabelecer uma relação tanto prejudicial (patogênica) quanto benéfica (simbiótica) com a planta hospedeira, a propriedade antimicrobiana de metabólitos secundários produzidos por fungos endofíticos combate a ação patogênica

dos fungos prejudiciais (RUSTAMOVA et al., 2020). Segundo Zaynab et al (2018), a maioria dos metabólitos secundários possuem propriedades antifúngicas. O fungo *Penicillium expansum*, um importante patógeno pós-colheita, apresentou em Rouissi et al. (2013) atividade antifúngica contra *Botrytis cinerea*, *Monilinia laxa* e *Colletotrichum acutatum* por meio de metabólitos secundários.

A obtenção de compostos originais da planta hospedeira por meio de fungos endofíticos reduzem a dependência das condições necessárias de produção pela planta (KUSARI, HERTWECK, SPITELLER, 2012), uma vez que não dependem dela para produção. Além disso, esses fungos têm capacidade de produzir outros compostos que são ausentes na planta hospedeira (RUSTAMOVA et al., 2020).

Em Huang et al (2021), compostos como alcalóides, antibióticos e compostos orgânicos voláteis são metabólitos mais indicados para ação em pós-colheita. Vários fungos, inclusive leveduras, são reportados como produtores de compostos voláteis antifúngicos, tornando-os potenciais agentes de biocontrole no combate de doenças pós-colheita. Alguns deles são *Trichoderma harzianum*, *Fusarium oxysporum* e *A. pullulans* (SPADARO, DROBY, 2016).

Dentre os metabólitos produzidos por fungos, os compostos orgânicos voláteis (VOCs) desempenham um importante papel em estratégias de controle pós-colheita a partir do método de biofumigação (SPADARO, DROBY, 2016). Apesar do processo estar mais comumente relacionada com a aplicação no campo, a biofumigação também têm se mostrado eficiente na proteção de frutas contra patógenos após a colheita (MARI, BAUTISTA-BANOS, SIVAKUMAR, 2016)

O interesse de produtos naturais na agricultura está atrelado a vantagens que esses compostos oferecem frente aos fungicidas convencionais. O menor tempo de meia vida, por exemplo, reduz a acumulação de resíduos prejudiciais, sendo mais biodegradáveis. Além disso, a produção desses compostos está ligada a toda um mecanismo de evolução de plantas e microrganismos que selecionam os melhores métodos de defesa (SOKOVIĆ, GLAMOČLIJA, ĆIRIĆ, 2013).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Realizar um levantamento bibliográfico aprofundado acerca do potencial de fungos endofíticos e seus produtos no combate de patógenos causadores de doenças pós-colheita.

2.2 Objetivos específicos

Por meio da revisão bibliográfica o presente trabalho buscou:

- a) Selecionar artigos em bibliotecas e acervos digitais;
- b) Expor e discutir métodos utilizados e resultados obtidos dos estudos selecionados;
- c) Discutir limitações e tópicos que ainda requerem atenção e investigação para uso adequado dos fungos endofíticos e seus produtos.

3 MÉTODOS

3.1 Busca bibliográfica

Para a revisão de literatura foram selecionadas as bibliotecas digitais Google Scholar, Science Direct, PubMed e Scielo. Os idiomas pesquisados foram português e inglês, ainda que a grande maioria dos estudos selecionados foram publicados no segundo idioma. As palavras-chaves buscadas foram *endophytic fungi*, *postharvest control*, *biocontrol*, *metabolites*, *compounds*.

Os critérios adotados para seleção dos artigos para revisão foram:

- a) o ano de publicação superior ao ano 2000;
- b) o tema abordado incluir fungos endofíticos atuando no controle de algum patógeno ou doença fúngica de fruta que ocorre em pós-colheita.

Os artigos selecionados se encontram na Tabela 1. Cerca de 50 resultados foram explorados em cada um dos bancos de pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Levantamento bibliográfico

A busca seguindo todos os critérios mencionados no tópico anterior resultou na seleção de 38 artigos no total. Abaixo, a Figura 1 mostra a porcentagem de trabalhos dentro de cada biblioteca consultada.

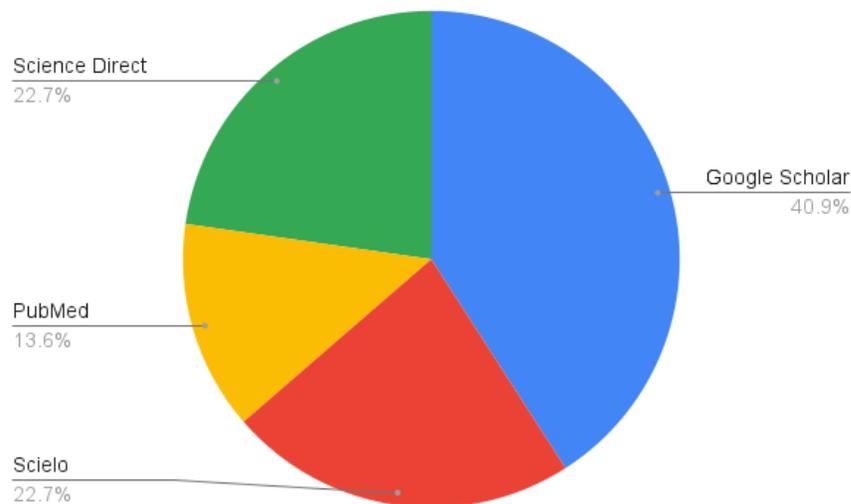


Figura 1: Porcentagem de artigos selecionados para cada biblioteca digital consultada. Fonte do próprio autor.

Além disso, a busca bibliográfica permitiu também a observação do progresso de estudos ao longo do tempo. Na Figura 2, os maiores picos com maior quantidade de artigos selecionados correspondem aos anos 2010, 2012, 2016 e 2021, indicando a tendência crescente de estudo do tema abordado.

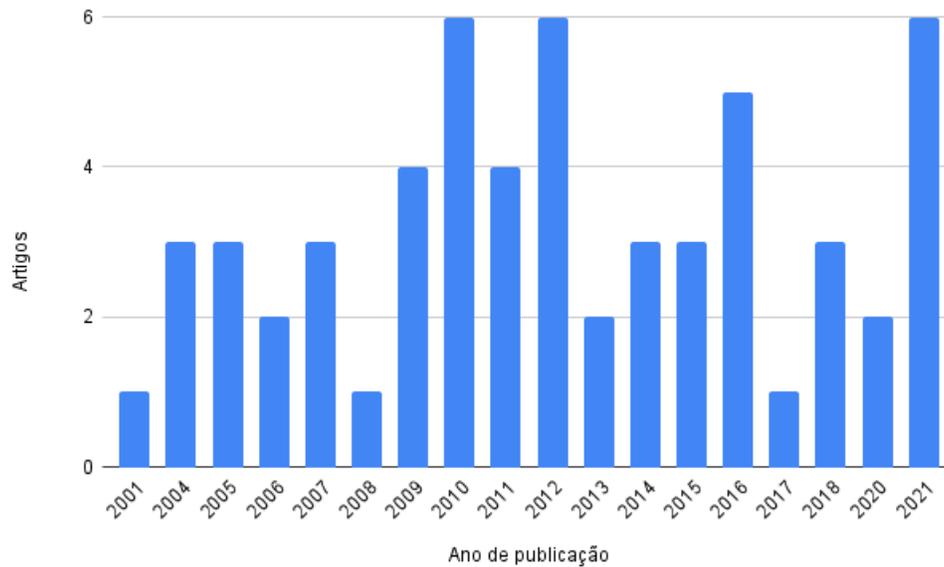


Figura 2: Quantidade de estudos selecionados para revisão em cada ano desde 2001 até 2021. Fonte do próprio autor.

4.2 Seleção de artigos

Os estudos foram divididos em ensaios *in vivo* e *in vitro*. Os ensaios *in vivo* abordam o uso do fungo endofítico diretamente relacionado a uma doença pós-colheita que afeta determinada cultura, com aplicação direta no fruto de interesse do estudo. Já os estudos *in vitro* abordam a aplicação do fungo endofítico contra um patógeno causador de doença pós-colheita, indicando possível aplicação futura *in vivo*.

IN VITRO				
Fungo Endofítico	Planta hospedeira	Patógeno	Fruto/vegetal	Referência
<i>Phomopsis cassiae</i>	<i>Cassia spectabilis</i>	<i>Cladosporium cladosporioides</i>	-	SILVA et al., 2005
<i>Muscodor albus 620</i>	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	<i>C. cladosporioides</i> , <i>A. Niger</i> , <i>P. expansum</i> , <i>C. globosum</i>	-	MERCIER e JIMÉNEZ, 2007

<i>Muscodor albus</i> 620	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	<i>B. cinerea</i> , <i>P. exapansus</i> e <i>S. sclerotiorum</i>	-	RAMIN et al., 2009
<i>Fusarium solani</i>	<i>Taxus baccata</i>	<i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Aspergillus niger</i> and <i>Rhizopus stolonifer</i>	-	TAYUNG, BARIK e JHA, 2010
<i>Chaetomium globosum</i>	<i>Ginkgo biloba</i>	<i>A. alternata</i>	-	LI et al., 2011
<i>Phomopsis cassiae</i>	<i>Cassia spectabilis</i>	<i>Cladosporium cladosporioides</i>	-	ZANARDI et al., 2012
<i>Muscodor albus</i>		<i>A. niger</i>	-	BRAUN et al., 2012
<i>Phaeosphaeria nodorum</i>	<i>Prunus domestica</i>	<i>Monilinia fructicola</i>	-	PIMENTA et al., 2012
<i>D. phaseolorum</i> e <i>T. atroviride</i>	<i>Espeletia complex</i>	<i>B. cinerea</i>	-	MILES et al., 2012
<i>F. proliferatum</i>	<i>Espeletia complex</i>	<i>F. oxysporum</i>	-	MILES et al., 2012
<i>Aspergillus fumigatus</i> LN-4	<i>Melia azedarach</i>	<i>B. cinerea</i> , <i>A. solani</i> , <i>A. alternata</i> , <i>C. gloeosporioides</i> , <i>F. solani</i> , <i>F. oxysporum f. sp. niveum</i> , <i>F. oxysporum f. sp. vasinfectum</i>	-	LI et al., 2012
<i>Chaetomium globosum</i>	<i>Withania somnifera</i>	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	-	KUMAR, KAUSHIK, PROKSCH, 2013
<i>Bionectria ochroleuca</i> , <i>Alternaria sp.</i>	<i>Vitis vinifera</i> L	<i>F. oxysporum</i> , <i>B. cinerea</i> e <i>A. alternata</i>	-	COSOVEANU et al., 2014
<i>Chaetomium globosum</i>	<i>Brassica napus</i>	<i>S. sclerotiorum</i>	-	ZHANG et al., 2014
<i>Trichoderma brevicompactum</i>	<i>Allium sativum</i>	<i>B. cinerea</i>	-	SHENTU et al., 2014

<i>B11C29 (não identificado pelo autor)</i>	<i>Artemisia absinthium</i>	<i>Botrytis cinerea</i>	-	NOUMEUR, MANCINI, ROMANAZZI, 2015
<i>Fungos isolados não identificados</i>	<i>Eugenia dysenterica DC</i>	<i>A. parasiticus, C. gloeosporioides e M. fructicola</i>	-	MALTA et al., 2015
<i>Fungos isolados não identificados</i>	<i>Myrciaria dubia</i>	<i>A. parasiticus, M. fructicola e C. gloeosporioides</i>	-	DE SENA CORREIA et al., 2015
<i>Phialocephala sphaeroides</i>	<i>Norway spruce</i>	<i>Botrytis cinerea</i>	-	TERHONEN, SIPARI, ASIEGBU, 2016
<i>Chaetomium globosum</i>	<i>Houttuynia cordata</i>	<i>Botrytis cinerea</i>	-	PAN et al., 2016
<i>Nodulisporium sp</i>	<i>Gliricidia sepium</i>	<i>A. solani e F. oxysporum</i>	-	SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ et al., 2016
<i>Colletotrichum crassipes</i>	<i>Casearia sylvestris</i>	<i>Cladosporium cladosporioides</i>	-	CHAPLA et al., 2018
<i>Nodulisporium sp</i>	<i>Peperomia dindygulensis</i>	<i>Penicillium digitatum</i>	-	YEH et al., 2021
IN VIVO				
Fungo Endofítico	Planta hospedeira	Patógeno/ doença	Fruto/vegetal	Referência
<i>Muscodor albus 620</i>	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	<i>P. expansus e B. cinerea</i>	Maçã	MERCIER, JIMÉNEZ, 2004
<i>Muscodor albus 620</i>	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	<i>Monilinia fructicola</i>	Pêssego	MERCIER, JIMÉNEZ, 2004
<i>Muscodor albus 620</i>	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	<i>Penicillium digitatum e Geotrichum citri-aurantii</i>	Limão	MERCIER, SMILANICK, 2005
<i>Muscodor albus 620</i>	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	<i>Monilinia fructicola</i>	Pêssego	SCHNABEL, MERCIER, 2006
<i>Muscodor albus 620</i>	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	<i>Botrytis cinerea</i>	Uva	GABLER et al., 2006

<i>Muscodor albus</i> 620	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Penicillium expansum</i> e <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Maçã	RAMIN et al., 2007
<i>Muscodor albus</i> 620	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	<i>S. sclerotiorum</i> e <i>B. cinerea</i>	Maçã	SCHOTSMAN S et al., 2008
<i>Muscodor albus</i> 620	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	Podridão da uva	Uva	MERCIER, LEGO, SMILANICK, 2010
<i>Oxyporus latemarginatus</i> EF069	<i>Capsicum annum</i> L.	<i>Botrytis cinerea</i>	Maçã	LEE et al., 2009
<i>Nodulisporium</i> sp. CF016	<i>Cinnamomum loureirii</i>	<i>B. cinerea</i> e <i>P. expansus</i>	Maçã	PARK et al., 2010
<i>Nodulisporium</i> spp	<i>Lagerstroemia loudonii</i>	<i>P. digitatum</i> e <i>P. expansum</i>	Limão	Suwannarach et al., 2013
<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Brassica Napus</i>	<i>Botrytis cinerea</i>	Tomate	ZHANG et al., 2014
<i>Penicillium</i> sp	<i>Artemisia absinthium</i>	<i>Botrytis cinerea</i>	Uva	NOUMEUR, MANCINI, ROMANAZZI, 2015
<i>Muscodor suthepensis</i> CMU-Cib462	<i>Cinnamomum bejolghota</i>	<i>Penicillium digitatum</i>	Tangerina	SUWANNARA CH et al., 2016
<i>Daldinia cf. concentrica</i>	<i>Olea europaea</i> L.	<i>Rhizopus</i> sp., <i>Penicillium</i> sp. e <i>Aspergillus</i> sp	Frutas orgânicas secas	LIARZI et al., 2016
<i>Hypoxylon anthochroum</i>		<i>Fusarium oxysporum</i>	Tomate	MEDINA-ROMERO, ROQUE-FLOR ES, MACÍAS-RUBA LCAVA, 2017

<i>Hypoxyylon anthochroum</i>	<i>Bursera lancifolia</i> , <i>Gliricidia sepium</i> , <i>Hippocratea acapulcensis</i> , <i>Sapium macrocarpum</i>	<i>Fusarium oxysporum</i>	Tomate	MACÍAS-RUBA LCAVA et al., 2018
<i>Trichoderma afroharzianum</i>	<i>Schefflera leucantha</i>	<i>F. oxysporum e F. proliferatum</i>	Pimenta	KHRUENGSAI et al., 2021
<i>Daldinia eschscholtzii</i>	<i>B. prionitis</i>	<i>Colletotrichum acutatum</i>	Morango	KHRUENGSAI et al., 2021

Tabela 1: Estudos *in vivo* e *in vitro* selecionados para revisão, organizados em fungo endofítico analisado, planta hospedeira do fungo, patógeno ou doença alvo, fruto acometido e referência do estudo. Fonte do próprio autor.

4.3 Análise da atividade no controle pós-colheita dos fungos endofíticos

4.3.1 *Muscodor sp.*

Muscodor albus Worapong, Strobel & W.M. Hess (*M.albus* 620) é um fungo endofítico isolado da planta *Cinnamomum zeylanicum* (LACEY & NEVEN, 2006; BANERJEE et al., 2014).

Várias espécies do gênero *Muscodor* foram constatadas como produtoras de um amplo espectro de substâncias bioativas, como os compostos orgânicos voláteis (VOCs) com propriedades antifúngicas, antibacterianas, inseticida, etc (KADDES et al., 2019; GUPTA & MESHRAM, 2018; SCHOTSMANS et al., 2008). Por esta razão, o fungo *Muscodor* spp. vêm sendo muito utilizado na técnica de biofumigação/micofumigação, direcionada ao controle de patógenos pós-colheita (GUPTA & MESHRAM, 2018).

O termo micofumigação foi utilizado por Strobel et al para denominar o uso de VOCs produzidos por microrganismos endofíticos para controlar determinados organismos prejudiciais (ELSHARBINY et al., 2020; LEE et al., 2009).

4.3.1.1 *Botrytis cinerea*

O patógeno causador do mofo cinzento é o principal fungo fitopatogênico necrotrófico estudado mundialmente (BOLÍVAR-ANILLO, GARRIDO, COLLADO, 2020). Afeta uma ampla diversidade de espécies vegetais, sendo o principal patógeno do morango, uva, maçã e tomate (HE et al., 2019; HUANG et al., 2021). Um dos principais patógenos pós-colheita, é considerado o segundo principal fitopatógeno, gerando anualmente grandes perdas econômicas (HUA et al., 2018; HUANG et al., 2021).

O fungo mais recorrente nos estudos com alvo em *B. cinerea* foi o endofítico *Muscodor albus*.

Em Mercier & Jiménez (2004), estudos *in vitro* e *in vivo* apresentaram boa inibição contra o patógeno em questão. Independente do tempo de fumigação, 30g de inóculo do fungo *M. albus* 620 foram suficientes para inibir a infecção de mofo cinzento pelas maçãs por 14 dias. Ensaio *in vivo* também em maçãs, realizados por Ramin et al. (2007), indicaram inibição de *B. cinerea* dentre outros dois patógenos em 5 diferentes variedades. A biofumigação com 0,5 g/L de cultura de *M. albus* por 24h já foi suficiente para controle de mofo cinzento.

Apesar de todo o potencial do fungo *M. albus*, existem algumas limitações de seu uso em proporções comerciais e industriais. Devido a natureza tropical do endofítico, a temperatura é um fator fundamental em seu crescimento (BRAUN et al., 2012). Para testar também condições de eficiência da biofumigação com *M. albus*, Shotsmans et al. (2008) realizou ensaios *in vitro* e *in vivo* em maçãs. *In vitro*, todos os patógenos fúngicos, incluindo *B. cinerea* foram inibidos independente da temperatura ou condições atmosféricas testadas. Embora o crescimento do fungo biofumigante tenha sido reduzido em temperaturas inferiores a 5°C, os fungos patogênicos permaneceram em inibição a 3°C. *In vivo*, *B. cinerea*, em condição de ar regular, teve 50% de redução do seu diâmetro comparado ao controle. Quanto à circulação de ar, Ramin et al. (2005) também testaram a influência de ventilação na eficiência do agente de biofumigação *M.*

albus, constatando-a como significativa. A exposição a compostos voláteis de 0,25g/L de cultura do fungo endofítico com circulação de ar resultou em inibição de todos os patógenos testados, inclusive *B. cinerea*. O fungo fitopatogênico teve seu crescimento inibido na presença de 1,0g/L de cultura de *M. albus* com ventilação. Quanto aos compostos voláteis produzidos pelo fungo endofítico, o identificado como ácido butírico teve ação inibitória sobre *B. cinerea* a 25µL/L. 2-metil-1-butanol provocou morte ou supressão de *B. cinerea* à 100µL/L. Em uvas, a biofumigação se mostrou bem efetiva no controle do mofo cinzento em diferentes condições de temperatura. Gabler et al. (2006) demonstrou inibição significativa de inóculos de *B. cinerea in vivo* em todas as temperaturas testadas (0.5, 5, 15 20°C) pela mesma cepa de Mercier & Jiménez *M. albus* 620. Além disso, foi observado que o aumento do tempo entre a inoculação e a biofumigação reduz a inibição.

É importante considerar a compatibilidade de métodos que envolvem o uso de fungos endofíticos com proporções comerciais, aproximando assim da aplicação no mercado. Em Mercier, Lego e Smilanick (2010), o método aplicado para biofumigação de *M. albus* no controle de podridão de uvas foi o uso de sachês. Além disso, o estudo também avaliou a influência de atmosfera modificada no experimento. A inibição do principal patógeno presente na podridão, *B. cinerea*, foi mais eficiente no tratamento com presença dos sachês e da atmosfera modificada, comprovando a hipótese de maior eficiência com combinação das duas técnicas. Tal evidência indica também a compatibilidade da biofumigação por *M. albus* com o manejo comercial de uvas.

4.3.1.2 *Penicillium* sp.

As espécies do gênero *Penicillium* são conhecidas por produzir diversas substâncias, dentre elas as micotoxinas. (CAMILETTI et al., 2014; PERRONE & SUSCA, 2017). Os danos provocados por esses metabólitos, por serem prejudiciais à qualidade e ao consumo dos frutos infectados, somam-se às perdas econômicas causadas por esse fungo, tornando cada vez mais necessário seu controle (YU et al., 2020).

A doença mofo verde causada pelo fungo *Penicillium digitatum* é uma das principais doenças pós-colheita de frutas cítricas (PALOU, 2014). As principais formas de evitar infecções por *P. digitatum* atualmente são controle de temperatura de manejo, aplicação de fungicidas pós-colheita e evitar injúrias. No entanto, a aplicação de defensivos químicos gera cada dia mais consequências nocivas em vários âmbitos (Mercier, Lego e Smilanick, 2005).

Em Suwannarach et al. (2016), o fungo endofítico *Muscodor suthensis* CMU-Cib462 isolado da planta *Cinnamomum bejolghota* por Suwannarach et al. (2013), apresentou boa performance como agente de controle do causador do mofo verde. Em ensaio *in vitro* de culturas pareadas, VOCs produzidos pelo fungo biofumigante foram responsáveis pela inibição completa do micélio de *P. digitatum*. Pela técnica GC-MS, foi possível identificar os dois compostos mais abundantes e assim avaliá-los separadamente, comprovando sua ação antifúngica contra *P. digitatum*. *In vivo*, a avaliação da inibição do mofo verde em tangerinas também foi positiva. Apresentando dependência da quantidade do fumigante, quanto maior a dose tratada, menores foram as lesões da doença. O tempo de fumigação também foi um fator avaliado, indicando também influência significativa. O tempo mínimo de controle foi de 12h, inibindo o crescimento do patógeno até o último dia de experimento (15º dia).

Em Mercier & Smilanick (2005), o fungo endofítico *M. albus* 620 também foi empregado como agente de biocontrole contra mofo verde, nesse caso em limões. A doença foi significativamente inibida mesmo com a fumigação ocorrida 24h após a inoculação. O estudo também comprovou a efetividade da fumigação nos armazenamentos em câmara e em embalagens, o que credibiliza ainda mais a aplicação da biofumigação no manejo de frutas.

O fungo *Penicillium expansum* é o principal causador de decomposição fúngica de maçãs. A forma mais utilizada de controle desse patógeno tem sido aplicação de fungicidas sintéticos pré-colheita (YU et al., 2020). Em Mercier & Jiménez (2007) a fumigação *in vitro* com *M. albus* apresentou bons resultados de inibição contra *P. expansum*. A partir da fumigação *in vitro* de 30g por 48h em caixas fechadas o crescimento foi completamente inibido. Em Mercier & Jiménez (2004), a proposta de

método alternativo de controle de patógeno causador de mofo azul em maçãs se mostrou eficiente tanto *in vitro* quanto *in vivo*. O processo de fumigação a partir do fungo endofítico *M. albus* 620 garantiu inibição da doença por mais de duas semanas, independente da quantidade aplicada. Assim resultou também a fumigação de maçãs por Ramin et al. (2007) a partir do mesmo endofítico.

Na avaliação da interferência de condições de atmosfera e temperatura por Ramin et al. (2005), a eficiência dos VOCs produzidos por *M. albus* 620 não mostrou dependência de nenhum dos fatores, uma vez que a inibição foi a mesma.

4.3.1.3 *Monilinia fructicola*

Monilinia fructicola é um dos fungos causadores da podridão parda (MARI et al., 2012). Para conter a doença tanto em pré quanto pós-colheita, são aplicados fungicidas químicos na cultura. O controle biológico já vem sendo uma alternativa estudada para proteger os campos da doença (MOREIRA et al, 2002). Apesar dos danos causados no campo, a maior perda está nos períodos de armazenamento e transporte (GRZEGORCZYK et al., 2017)

A fumigação como controle de podridão marrom em pêssegos foi muito efetiva tanto *in vitro* quanto *in vivo*, de acordo com Mercier & Jiménez (2004). No estudo em que o tempo de fumigação também foi avaliado, a doença foi completamente inibida por 10 dias em todos os períodos testados (24, 48, 72h e 5 dias).

De acordo com Schnabel & Mercier (2006), a forma de aplicação do fungo endofítico foi por meio de sachês. De forma geral, a biofumigação em sachês foi bem sucedida na proteção dos pêssegos da infecção de podridão marrom em câmara fria de 1 a 2°C. O estudo mostrou a viabilidade logística da biofumigação em sachês para aumentar a conservação de frutos armazenados e transportados em caixas sob baixas temperaturas. Tal evidência é muito relevante, uma vez que atualmente a cadeia fria é um processo muito utilizado para conservação de produtos agroalimentares até a chegada ao varejo (FERREIRA, 2017; REGO, 2016).

O uso de sachês também apresentou bons resultados em Mercier, Lego e Smilanick (2010). No estudo, além da fumigação em sachês a influência da atmosfera modificada também foi avaliada no controle da podridão de uva. Os autores mostraram que a combinação dos sachês com atmosfera modificada (redução de perda de umidade e maior concentração de CO₂) apresentou a melhor performance inibitória. Tais resultados indicam a compatibilidade da fumigação por sachês com o manejo comercial de uvas em caixas, podendo aumentar significativamente a durabilidade das uvas tanto no armazenamento quanto no transporte.

4.3.1.4 *Sclerotinia sclerotiorum*

O fungo necrotrófico *Sclerotinia sclerotiorum* afeta 408 espécies diferentes de plantas e uma vasta variedade de culturas comerciais (ELSHARBINY & TAHER, 2018; LEE et al., 2015). O fungo causador da podridão de cenoura é responsável por perdas tanto do campo quanto durante o armazenamento e considerado um dos principais patógenos pós-colheita (ELSHARBINY & TAHER, 2018; RAMIN et al., 2005; RAMIN et al., 2007).

Em Ramin et al. (2007) e em Shotsmans et al. (2008) a biofumigação com *M. albus* 620 tiveram efeito significativo na redução do patógeno *S. sclerotiorum* em maçãs infectadas. No último estudo ainda houve inibição independente das condições de temperatura e atmosfera tanto no teste in vivo quanto in vitro. Similarmente, Ramin et al. (2005) não observou dependência da circulação de ar no efeito inibidor do biofumigante in vitro. Além disso, o composto etil butirato isolado do fungo endofítico se mostrou eficiente apenas no controle de *S. sclerotiorum* frente aos demais patógenos testados.

4.3.1.5 *Aspergillus sp.*

Em Braun et al. (2012), a questão levantada foi em relação à viabilidade do uso do fungo *M. albus* sob as condições convencionais de armazenamento e suas limitações comerciais. Isso devido a origem do fungo de clima tropical, como já citado no tópico 4.3.1.1, e à algumas substâncias produzidas serem tóxicas ao consumo humano. O estudo propõe a substituição do fungo por seus voláteis, uma vez que os resultados foram favoráveis no controle do causador do mofo negro, *Aspergillus niger*, (LI et al., 2017) sob baixa temperatura. O efeito da mistura de ácido isobutírico e 2-metil-1-butanol garantiram inibição de 90% de *A. niger* tanto em condições ambientes quanto em 3°C. Tal resultado reforça o composto ácido butírico como VOC produzido pelo fungo *M. albus* mais estudado por sua atividade antifúngica (CORCUFF et al., 2011). O efeito do mesmo composto também foi observado em outras espécies do gênero *Aspergillus* em Mercer & Jiménez, 2007. Os VOCs do fungo *M. albus* 620 causaram morte ou inibição de *Aspergillus sp.* e *Penicillium sp.*, em que o mais abundante identificado foi o composto ácido isobutírico, seguido de 2-metil-1-butanol e isobutanol.

4.3.2 *Nodulisporium sp.*

O gênero *Nodulisporium* e seu teleomorfo, *Hypoxyton*, é reportado como grande fonte de produção de VOCs que possuem importantes atividades biológicas (SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ et al., 2016; HASSAN et al., 2013).

De acordo com Park et al. (2010) a fumigação *in vitro* se mostrou eficaz contra todos os patógenos testados. O fungo endofítico *Nodulisporium* CF016, dentre os 38 isolados da árvore *Cinnamomum loureirii*, teve atividade antifúngica fungicida registrada contra o causador do mofo cinzento, *B. cinerea*, 3 dias após exposição ao biofumigante. *In vivo*, foi observada uma relação dependente do efeito da fumigação e a dose do fungo. Culturas sólidas de 12.5, 25.0 e 50g resultaram supressão de 35%, 68% e 88% das lesões de mofo cinzento (*B. cinerea*) nas maçãs, respectivamente; e 12.5, 25 e 50g resultaram em supressão de 38, 58 e 76% de mofo azul (*P. expansum*), respectivamente. *In vitro*, os fungos em que endofítico exerceu atividade fungistática

foram *Fusarium oxysporum* e *Penicillium expansum*, já os que o endofítico exerceu atividade fungicida foram *S. sclerotiorum*, *C. coccodes* e *B. cinerea* apresentando 100% de inibição sob efeito fumigador de *Nodulisporium* CF016.

Em Suwannarach et al (2013), dentre os 46 fungos endofíticos isolados da espécie *Lagerstroemia loudoni*, o fungo *Nodulisporium* CMU-UPE34 foi o único que teve atividade antifúngica constatada. *In vitro*, *P. digitatum* e *P. expansum* apresentaram inibição de cerca de 83 e 87%, respectivamente. Já no ensaio *in vivo* em três variedades de limões, a dose mínima de fumigação para controle de mofo azul causado pelo fungo *P. digitatum* foi de 60g, enquanto que para controle de mofo verde, causado pelo fungo *P. expansum* foi de 50g. Dentre os 31 compostos voláteis produzidos pelo fungo endofítico estudado, o isolado mais abundante foi o eucaliptol.

YEH et al. (2021) também sugere o uso do endofítico *Nodulisporium* sp. como agente de controle de doenças pós-colheita causadas por *Penicillium digitatum*. O fungo *Nodulisporium* PDL-005, isolado da planta medicinal *Peperomia dindygulensis*, provocou inibição do crescimento micelial de *P. digitatum* Cmep1-3 em 88.2%(±13.5). *In vivo*, laranjas inoculadas e incubadas com o fungo PDL-005 por 6 dias foram completamente protegidas do mofo verde em todas as doses de fumigação testadas (20, 40 e 50g). Ademais, o método analítico GC/MS indicou os compostos 2-etil-2-hexenal e 2,4-dimetil-1.3-ciclopentanodiona, produzidos pelo fungo endofítico estudado, como principais responsáveis pelo controle da doença.

De acordo com Sánchez-Fernández et al. (2016), o fungo endofítico *Nodulisporium* sp., isolado da planta *Gliricidia sepium*, também pode ser um agente de controle dos fitopatógenos *F. oxysporum* e *A. solani*, causadores de doenças pós-colheita. No ensaio *in vitro* de culturas pareadas, após 8 dias de interação entre a cepa *Nodulisporium* sp GS4d2II1a e o patógeno, os fungos *F. oxysporum* e *A. solani* foram completamente inibidos, com avanço do crescimento do endofítico sobre os patógenos. Além disso, no teste múltiplo de avaliação de atividade antagonista, em que o fungo foi colocado à distância para avaliar a efetividade dos VOCs produzidos, após 6 dias a maior supressão observada foi de *F. oxysporum* com 73.8% de inibição. Após 8 dias, a inibição de *A. solani* foi de 75.4%.

Em Macías-Rubalcava et al. (2018), quatro diferentes cepas de *Hypoxyton anthochroum* de diferentes plantas hospedeiras foram avaliadas quanto ao seu potencial de micofumigação no controle do fitopatógeno *F. oxysporum*. Quase todas apresentaram VOCs efetivos no controle *in vivo* de tomates cereja inoculados, com inibição mínima de 50%. O maior valor de inibição foi de 80% em 5 dias pela cepa Haeg2. Dos 36 VOCs produzidos pelas 4 cepas, o principal foi eucaliptol. Segundo o autor, esse composto é o mais encontrado em espécies do gênero *Hypoxyton*. O estudo também revelou que o efeito da micofumigação envolve inibição do crescimento e respiração do patógeno, havendo também alteração da membrana celular e da morfologia das hifas. O mesmo foi observado em Medina-Romero, Roque-Flores, Macías-Rubalcava (2017). Além disso, no estudo publicado em 2017, 6 VOCs produzidos por *H. anthochroum* e *H. anthochroum Blaci* foram avaliados em ensaios *in vitro* e *in vivo* quanto a eficiência da atividade antifúngica contra *F. oxysporum*. Em ambos os ensaios, os melhores resultados de inibição foram dos tratamentos com mistura dos 6 VOCs e o com mistura de álcoois. A mistura de VOCs é formada pelos principais grupos produzidos por microrganismos: álcoois e monoterpenos (MEDINA-ROMERO, ROQUE-FLORES, MACÍAS-RUBALCAVA, 2017).

4.3.3 *Fusarium sp.*

Fungos endofíticos do gênero *Fusarium* são reportados com produtores de diversas substância com propriedades antifúngicas, fitotóxicas, antibacterianas, inseticidas e citotóxicas (KORNSAKULKARN et al., 2011).

Em Zhang et al. (2014), o fungo endofítico, *F. oxysporum* CanR-46, isolado da planta *Brassica Napus*, dentre outros 97 isolados, apresentou VOCs com capacidade antifúngica eficaz no controle de *B. cinerea* tanto *in vitro* quanto *in vivo*. Pelo método de culturas pareadas, os VOCs inibiram o patógeno em 91% comparado ao controle. Já *in vivo*, com aplicação do patógeno em tomates, o tratamento contendo *F. oxysporum* e *B. cinerea* e o controle positivo, contendo apenas *F. oxysporum*, não apresentaram nenhum sintoma da doença mofo cinzento.

O fungo endofítico isolado da planta *Taxus baccata* em Tayung et al. (2010) foi identificado como *Fusarium solani*. Os metabólitos produzidos pelo fungo foram eficientes no controle de três patógenos pós-colheita, *Fusarium oxysporum*, *Aspergillus niger* e *Rhizopus stolonifer*, com inibição de 50%.

Outro fungo do gênero com potencial antifúngico avaliado foi o *Fusarium proliferatum* por Miles et al. (2012). No ensaio *in vitro*, os metabólitos do endofítico foram capazes de inibir *B. cinerea* e *F. oxysporum* em 69%.

4.3.4 *Penicillium sp.*

No estudo de Noumeur, Mancici e Ramanazzi (2016), 20 fungos endofíticos foram isolados da planta *Artemisia absinthium*. A atividade inibidora testada *in vitro* em culturas pareadas resultou em redução do crescimento radial de *B.cinerea* em 33 a 50%. A maior redução foi gerada pela cepa B11C29. *In vivo*, as uvas inoculadas com suspensão conidial, tanto do patógeno quanto dos fungos endofíticos, apresentaram redução significativa de mofo cinzento proporcionada pelas cepas B6C18, B14C36 e B9C22. As duas primeiras cepas foram identificadas como *Penicillium sp.*, enquanto que B9C22 e a relacionada com a maior inibição *in vitro*, B11C29, não foram identificadas pelo autor.

4.3.5 *Daldinia sp.*

A avaliação de atividade antagonista do fungo *D. cf concentrica*, isolado da espécie vegetal *Olea europaea L.* em Liarzi et al. (2016) apresentou bons resultados tanto da atividade do fungo em si, quanto de seus compostos produzidos. A ação do fungo e de misturas de voláteis inibiram o fungo causador de mofo cinzento em 100%. O estudo de Liarzi et al. (2016) avaliou não apenas o potencial de biocontrole do fungo *D. cf concentrica*, mas também a influência das condições de cultura na bioatividade do mesmo. Em teste *in vitro*, avaliando o controle do patógeno *A. niger*, o meio de cultura

foi um fator significativo da inibição. Os meios de culturas comerciais (PDA e PDB) permitiram 100% de inibição do fungo patogênico, enquanto que os meios de trigo, milho e arroz obtiveram apenas 85, 65 e 54% respectivamente. Quanto à temperatura ideal para melhor desempenho do endofítico, a temperatura entre 10 e 25°C permitiu inibição completa dos patógenos *A. alternata*, *B. cinerea*, *A. niger* e *P. digitatum*.

Quase todos os 27 voláteis isolados do fungo apresentaram atividade antifúngica. Além disso, misturas de voláteis também mostraram eficácia no controle de patógenos, se equiparando ou até superando a ação de *D. cf. concentrica*. O fitopatógeno *Fusarium oxysporum*, por exemplo, sofreu maior inibição pelas misturas que pelo próprio fungo endofítico.

Em ensaios *in vivo* em frutas secas e em amendoim, a presença do fungo *D. cf. concentrica* inibiu completamente os patógenos testados.

Em Khruengsai et al. (2021), dentre os VOCs avaliados dos 34 fungos endofíticos isolados da planta *Barleria prinitis* em culturas pareadas, o fungo responsável pela maior inibição de *Colletotrichum acutatum* foi identificado como *Daldinia eschscholtzii* MFLUCC 19-0493. A inibição *in vitro* do causador da doença pós-colheita anthracnose em morangos foi de 80,3%. Dentre os principais VOCs produzidos pelo fungo endofítico que foram identificados, o composto elemicina foi responsável pela maior inibição *in vitro* de *C. acutatum*. *In vivo*, a inibição média das lesões nos morangos inoculados testados pelo fungo *C. acutatum* foi de 72,4%. Já a inibição *in vivo* gerada pelo composto elemicina sem contato direto com os morangos foi de 70,9%.

Dentre 100 fungos endofíticos isolados das espécies *Espeletia grandiflora* e *Espeletia corymbosa* em Miles et al. (2012) 81 apresentaram atividade antagonista contra os patógenos alvos do estudo em ensaio de culturas pareadas. Os fungos *Daldinia phaseolorum* e *Trichoderma atroviride* inibiram o crescimento de *B. cinerea* em 95%. Já em meio líquido, foi possível obter porcentagens de inibição entre 65 e 68% dos isolados endofíticos *Beauveria bassiana*, *Scopulariopsis brevicaulis* e *Epicoccum nigrum*.

Miles et al. (2012) ainda faz observações sobre a interação entre o endofítico e o patógeno durante a inibição. No ensaio de atividade antagonista, foram observados três tipos de interações:

- a) formação de zona inibitória do patógeno gerada pelo fungo endofítico;
- b) crescimento do patógeno e do endofítico um de encontro ao outro;
- c) crescimento do endofítico sobre o patógeno.

A diversidade e efetividade antifúngica de compostos produzidos por endofíticos do gênero *Daldinia* indicada nos estudos, reforça a grande parte que ainda há para ser investigada do endofítico.

4.3.6 *Oxyporus latemarginatus*

Dentre 91 fungos endofíticos da espécie *Capsicum annum* L. isolado por Lee et al. (2009), apenas o identificado como *Oxysporum latemarginatus* EF069 apresentou atividade fúngica contra *B. cinerea*. *In vitro*, os compostos voláteis produzidos pelo fungo inibiram 39 (± 6), 31 (± 12) e 49% (± 11) dos patógenos *A. alternata*, *B. cinerea* e *C. gloeosporioides*, respectivamente. Em maçãs, a micofumigação *in vivo* com 50g de cultura sólida do basidiomiceto *O. latemarginatus* obteve a maior supressão de lesões inoculadas de 98.4% (± 3.6). As demais doses do fungo endofítico, 25 e 12.5g obtiveram inibição de 91.2 (± 1.8) e 81.6 (± 3.8), respectivamente. O composto volátil identificado por GC-MS foi o 5-pentil-2-furaldeído (PTF).

O estudo revela que o fungo endofítico filamentoso *Oxyporus latemarginatus* não patogênico produz diversos compostos com atividade antifúngica. Isso o torna um grande candidato ao uso em biocontrole.

4.3.7 *Trichoderma* sp.

Apesar do gênero *Trichoderma* ser um fungo majoritariamente presente no solo ou em sistemas radiculares (RIBEIRO, 2010), algumas espécies do fungo filamentoso foram encontradas como endofíticos em alguns estudos (KHRUENGSAI et al., 2021; MILES et al., 2012)

Em Khruengsai et al. (2021) duas cepas do gênero *Trichoderma* foram isoladas de folhas de *Shefflera leucantha* e avaliadas contra os principais causadores de doença fúngica pós-colheita de pimentas. Resultados do estudo *in vitro* sugeriram uma especificidade de inibição entre uma determinada cepa com um determinado fungo patogênico, uma vez que *T. afroharzianum* MFLUCC19-0090 apresentou maior inibição micelial de *F. oxysporum*, assim como *T. afroharzianum* MFLUCC19-0091 apresentou para *F. proliferatum*. O mesmo foi observado na inibição da infecção em pimentas inoculadas com o patógeno por voláteis das cepas endofíticas. O composto volátil com maior atividade antifúngica sobre ambos patógenos pós-colheita foi o álcool fenetílico.

Em Shentu et al. (2014), o fungo *Trichoderma brevicompactum* isolado do alho (*Allium sativum*) apresentou forte atividade antifúngica de *B. cinerea* comparado ao controle positivo carbendazim, com EC50 de 2.02 µg/mL.

O uso do gênero *Trichoderma* como agente de biocontrole no campo têm trazido benefícios a diversas produções. No entanto, o fungo como endofítico ainda não é muito explorado (CARRO-HUERGA et al., 2020). Estudos, como os citados neste trabalho, indicam atividade antifúngica significativa do fungo e de compostos produzidos por ele (LI et al., 2016; BAIYEE, ITO, SUNPAPAO, 2019; GRIGOLETTO et al., 2020). Por esta razão, um maior estudo desse fungo como endofítico pode trazer uma ampla variedade de aplicações contra patógenos, inclusive os que afetam produções pós-colheita.

4.3.8 *Chaetomium sp.*

O gênero ascomycota *Chaetomium* detém uma ampla diversidade de espécies produtoras de compostos. As principais substâncias produzidas pelo fungo endofítico são as chaetoglobosinas, com atividades biológicas reportadas em vários estudos (LI et al., 2011). *C. globosum* é uma das espécies do gênero que tem sido bastante explorada no âmbito do controle biológico (KUMAR, KAUSHIK, PROKSCH, 2013).

Em Kumar, Kaushik, Proksch (2013), o fungo endofítico *Chaetomium globosum* EF18 foi isolado da espécie *Withania somnifera* e teve seus extratos avaliados no combate de *Sclerotinia sclerotiorum*. Nas análises de cromatografia líquida a vácuo, várias frações apresentaram atividade antifúngica acima de 80%. A fração VIII de extrato de acetila foi a mais efetiva contra o fungo, com IC50 de 35,4 µg/mL. Em Zhang et al (2014), também foi constatada eficiência no combate de *S. sclerotiorum*. Dentre os fungos endofíticos isolados de *Brassica napus*, *C. globosum* CanR-42 apresentou, no teste de culturas pareadas, a maior atividade contra *S. sclerotiorum*, com zona de inibição de 17mm de largura.

B. cinerea persoon e *B. cinerea Pers ex Fr.* foram uns dos fungos fitopatogênicos que mais apresentaram inibição em Pan et al. (2016). Os experimentos se deram por meio da avaliação de metabólitos brutos do fungo endofítico *C. globosum* isolado da planta *Houttuynia cordata*.

Em Li et al. (2011), dos 12 metabólitos produzidos pelo fungo endofítico da espécie *Ginkgo biloba*, a gliotoxina apresentou, *in vitro*, atividade antifúngica significativa contra *A. alternata*, com EC50 de 36,8 µg/mL. Comparável ao controle positivo hymexazol (EC50= 32,8 µg/mL), foi o melhor resultado dentre os fitopatógenos testados.

Em Casoveanu et al. (2014), a avaliação de extratos fúngicos isolados da videira *Vitis vinifera L.*, por método de difusão em ágar, teve como melhor resultado de inibição o endófito *C. spirochaete* contra *B.cinerea* (EC50=0.008 mg/mL). Na avaliação de

atividade antagonista, *C. spirochaete* foi eficaz contra os fungos patogênicos *F. oxysporum* e *A. alternata*.

Também na análise de atividade antagonista dos isolados (em difusão de ágar), as interações de inibição mais significativas foram dos fungos endofíticos *Bionectria ochroleuca* e *Alternaria sp*, apresentando forte efeito sobre *F. oxysporum*, *B. cinerea* e *A. alternata*.

A alta incidência de compostos bioativos produzidos pelo gênero *Chaetomium* indica uma possível expansão de aplicação. Mesmo havendo pouco elucidado em ensaios *in vivo*, indica ser um forte candidato a controle de doenças pós-colheita.

4.3.9 *Phomopsis cassiae*

A grande biodiversidade brasileira fomenta a exploração de fungos endofíticos a partir das de diversas plantas hospedeiras em diferentes biomas. Como ainda há muito o que se investigar, devido à crescente extinção de espécies, os estudos tornam-se ainda mais urgentes (ZANARDI et al., 2012).

Nos estudos de metabólitos produzidos por fungos endofíticos de plantas nativas do cerrado (SILVA et al., 2006; TELES et al., 2005; SILVA et al., 2005; ZANARDI et al., 2012), o grupo constatou atividade fúngica do endofítico *Phomopsis cassiae*, isolado de folhas da planta *Cassia spectabilis* contra o fitopatógeno *Cladosporium cladosporioides*.

Em Zanardi et al. (2012), a inibição gerada pelo fungo endofítico foi devido à produção de sesquiterpenos. Em Silva et al. (2005), dois metabólitos produzidos por *P. cassiae* (2,4-dihidroxi-5,6-metil benzoato de etila e phomopsilactona) apresentaram inibição antifúngica contra *C. cladosporioides* similar ao controle positivo nistatina.

Ainda no controle do mesmo fungo, em Chapla et al. (2018) dois compostos produzidos pelo fungo endofítico *Colletotrichum crassipes* e um composto produzido pelo endofítico *Xylaria sp*, ambos isolados de folhas de *Casearia sylvestris*, apresentaram forte atividade antifúngica contra *C. cladosporioides*.

4.3.10 *Phialocephala sphaeroides* e *Cryptosporiopsis ericae*

Dois fungos endofíticos isolados da conífera *Picea abies* por Terhonen, Sipari e Asiegbu (2016), foram identificados como *Phialocephala sphaeroides* e *Cryptosporiopsis ericae*. Dentre os fitopatógenos testados, *B. cinerea* foi o fungo inibido em menos tempo. Em presença de *P. shareoides*, 4 dias foram necessários para inibição, e em presença de *C. ericae*, 5.

4.3.11 *Phaeosphaeria nodorum*

Pimenta et al. (2012) isolaram um total de 163 fungos endofíticos de várias variedades da espécie *Prunus domestica*. Destes, 14 isolados inibiram a germinação de esporos de ambos os fungos patogênicos pós-colheita *C. gloeosporioides* e *M. fructicola*. Quanto ao crescimento micelial, 17 inibiram *C. gloeosporioides* e 22 *M. fructicola*. O isolado mais frequente foi identificado como o fungo endofítico *Phaeosphaeria nodorum*. O estudo também revelou que os isolados não apenas inibiram o crescimento da hifas, mas também geraram alteração em sua morfologia.

4.3.12 *Aspergillus fumigatus*

Em Li et al. (2012) foram avaliados ao todo 39 metabólitos do caldo fermentado da cepa *Aspergillus fumigatus* LN-4, endofítico da espécie vegetal *Melia azedarach*. 16 desses compostos apresentaram atividade inibitória contra um amplo espectro de fitopatógenos, dentre eles, o pós-colheita *B. cinerea*. Destes, 4 compostos, com valores de Mic entre 6.25 e 50µg/mL, tiveram resultados comparáveis aos fungicidas comerciais carbendazim e hymexazol.

4.3.13 Fungos endofíticos não identificados

Malta et al. (2015) mostrou que a espécie do cerrado Cagaiteira (*Eugenia dysenterica* DC) é uma fonte rica de microrganismos endofíticos com potencial de biocontrole. No estudo, foram isolados 263 endofíticos das folhas e do caule da planta. Dos 96 fungos que apresentaram atividade antifúngica, 68 inibiram *C. gloeosporioides*, 46 inibiram *A. parasiticus* e 17 inibiram *M. fructicola* a partir da produção de substância voláteis ou difusíveis.

Em De Sena Correia et al. (2015), também foi explorada uma importante espécie da biodiversidade da flora brasileira. 307 fungos endofíticos foram isolados de folhas e caules da planta amazônica *Myrciaria dubia* que dá origem ao fruto camu-camu. 22 isolados apresentaram atividade inibitória a pelo menos um dos patógenos testados (*A. parasiticus*, *C. gloeosporioides* e *M. fructicola*). Destes, a produção de compostos bioativos de 5 endofíticos resultou em inibição de mais de 50%.

Ambos estudos exploram espécies de plantas hospedeiras de dois grandes biomas brasileiros. Os resultados obtidos reforçam a relevância da biodiversidade da flora brasileira na exploração de novos microrganismos endofíticos.

5 CONCLUSÕES

O uso de fungos endofíticos e seus produtos no campo pós-colheita é uma área que oferece muito conteúdo a ser explorado e estudado. Os mecanismos de ação, interação e as consequências e impactos em frutas e vegetais e em seu consumo ainda precisam ser melhor elucidados para garantir segurança e eficácia.

Os estudos explorados neste trabalho indicam eficiente atividade antifúngica de um amplo espectro de espécies de fungos endofíticos no combate de patógenos pós-colheita. A grande biodiversidade desses microrganismos incentiva uma maior prospecção de espécies produtoras de compostos bioativos que oferecem uma ampla variedade de aplicações biotecnológicas. Ainda que alguns artigos tenham apenas demonstrado inibição *in vitro*, os fitopatógenos testados que também são causas de

doenças pós-colheita de frutas e vegetais indicaram efeito suficiente que fomentam maior investigação e aplicação na área.

A constante demanda por alimentos junto ao combate de perdas de produtos agrícolas são uma urgente pauta mundial. Considerando, que grande parte das perdas está vinculada ao manejo pós-colheita de frutas e vegetais. Atualmente, o principal método de prevenção de algumas doenças pós-colheita ainda é a aplicação de fungicidas que, além de prejudicarem a saúde e o meio ambiente, contribuem para o surgimento de cada vez mais patógenos resistentes. Por estas razões, métodos alternativos como o uso de agentes de biocontrole no combate de patógenos têm atraído a atenção para soluções mais sustentáveis.

Além disso, as limitações de cada fungo endofítico como agentes de biocontrole e os fatores comerciais e logísticos envolvidos no manejo pós-colheita devem ser mais investigados para adequação às proporções comerciais e industriais. A bio/micofumigação é um método recente que tem apresentado bons resultados de proteção de frutas após a colheita, além da compatibilidade com processos de armazenamento e transporte. Uma maior prospecção de fungos endofíticos e metabólitos produzidos por eles pode aumentar ainda mais a frequência dessa técnica para ainda mais culturas.

A fim de combater os altos custos do controle convencional de doenças pós-colheita, a redução do uso destes métodos em missão de abrir espaços para formas alternativas mais sustentáveis já é uma mudança considerável. A combinação de diferentes estratégias ao manejo também favorece a introdução e expansão do uso do controle biológico de forma mais usual. Há muito ainda a ser desenvolvido e pensado para introdução de produtos deste tipo no mercado, mas as vantagens oferecidas pelos fungos endofíticos oferecem um novo viés do controle biológico, reafirmando a necessidade de implementação dessa abordagem mais sustentável e compatível com os tempos e demandas atuais.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDEL-AZEEM, Ahmed M.; ABDEL-AZEEM, Mohamed A.; KHALIL, Waleed F. Endophytic fungi as a new source of antirheumatoid metabolites. In: *Bioactive Food as dietary interventions for arthritis and related inflammatory diseases*. **Academic Press**, 2019. p. 355-384.
- ALEXANDRATOS, Nikos; BRUINSMA, Jelle. World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. **Food and Agriculture Organization of the UN**, Rome, 2012.
- ANNEX, Web. Global Trends and Future Challenges for the Work of the Organization. 2012.
- AZEVEDO, João Lúcio. Endophytic fungi from Brazilian tropical hosts and their biotechnological applications. In: *Microbial diversity and biotechnology in food security*. **Springer**, New Delhi, 2014. p. 17-22.
- BAIYEE, Burhanah; ITO, Shin-ichi; SUNPAPAO, Anurag. Trichoderma asperellum T1 mediated antifungal activity and induced defense response against leaf spot fungi in lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 106, p. 96-101, 2019.
- BANERJEE, Debdulal et al. Muscodor albus MOW12 an endophyte of Piper nigrum L.(Piperaceae) collected from North East India produces volatile antimicrobials. **Indian journal of microbiology**, v. 54, n. 1, p. 27-32, 2014.
- BARTLETT, Dave W. et al. The strobilurin fungicides. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v. 58, n. 7, p. 649-662, 2002.
- BENKEBLIA, N. et al. Preharvest and harvest factors influencing the postharvest quality of tropical and subtropical fruits. In: **postharvest biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits**. Woodhead Publishing, 2011. p. 112-142e.
- BOLÍVAR-ANILLO, Hernando José; GARRIDO, Carlos; COLLADO, Isidro G. Endophytic microorganisms for biocontrol of the phytopathogenic fungus Botrytis cinerea. **Phytochemistry Reviews**, v. 19, n. 3, p. 721-740, 2020.
- BRAUN, Gordon et al. Muscodor albus volatiles control toxigenic fungi under controlled atmosphere (CA) storage conditions. **International journal of molecular sciences**, v. 13, n. 12, p. 15848-15858, 2012.
- CAMILETTI, Boris X. et al. Natural control of corn postharvest fungi Aspergillus flavus and Penicillium sp. using essential oils from plants grown in Argentina. **Journal of food science**, v. 79, n. 12, p. M2499-M2506, 2014.
- CARRO-HUERGA, Guzmán et al. Colonization of Vitis vinifera L. by the Endophyte Trichoderma sp. Strain T154: Biocontrol Activity Against Phaeoacremonium minimum. **Frontiers in plant science**, v. 11, p. 1170, 2020.
- CARUSO, Gianluca et al. Linking endophytic fungi to medicinal plants therapeutic activity. A case study on Asteraceae. **Agriculture**, v. 10, n. 7, p. 286, 2020.
- CHAPLA, Vanessa M.; BIASETTO, Carolina R.; ARAUJO, Angela R. Fungos endofíticos: uma fonte inexplorada e sustentável de novos e bioativos produtos naturais. **Revista Virtual de Química**, p. 421-437, 2013.
- CHAPLA, Vanessa M. et al. Griseofulvin, diketopiperazines and cytochalasins from endophytic fungi Colletotrichum crassipes and Xylaria sp., and their antifungal, antioxidant and anticholinesterase activities. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 29, n. 8, p. 1707-1713, 2018.

COATES, Lindy; JOHNSON, Greg. Postharvest diseases of fruit and vegetables. **Plant pathogens and plant diseases**, p. 533-548, 1997.

CONFORTI, Piero et al. **Looking ahead in world food and agriculture: perspectives to 2050**. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2011.

CORCUFF, Ronan et al. Effect of water activity on the production of volatile organic compounds by *Muscodor albus* and their effect on three pathogens in stored potato. **Fungal biology**, v. 115, n. 3, p. 220-227, 2011.

COSOVEANU, A. et al. Endophytic fungi from grapevine cultivars in Canary Islands and their activity against phytopatogenic fungi. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v. 7, n. 15, p. 1497, 2014.

DEKA, Deepanwita; TAYUNG, Kumananda; JHA, Dhruva Kumar. Harnessing fungal endophytes for plant and human health. **Endophytes: biology and biotechnology**, p. 59-98, 2017.

DE SENA CORREIA, Vanessa Carolina et al. Evaluation of antagonistic activity in vitro of endophytic fungi associated with camu-camu (*Myrciaria dubia*)/Avaliação da atividade antagonista in vitro de fungos endofíticos associados ao camu-camu (*Myrciaria dubia*). **Journal of bioenergy and food science**, v. 2, n. 4, 2015.

DE SILVA, Nimali I. et al. Use of endophytes as biocontrol agents. **Fungal Biology Reviews**, v. 33, n. 2, p. 133-148, 2019.

DROBY, Samir et al. The science, development, and commercialization of postharvest biocontrol products. **Postharvest Biology and Technology**, v. 122, p. 22-29, 2016.

DUKARE, Ajinath Shridhar et al. Exploitation of microbial antagonists for the control of postharvest diseases of fruits: a review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 59, n. 9, p. 1498-1513, 2019.

ELSHARBINY, Elsherbiny A.; TAHER, Mohamed A. Silicon induces resistance to postharvest rot of carrot caused by *Sclerotinia sclerotiorum* and the possible of defense mechanisms. **Postharvest Biology and Technology**, v. 140, p. 11-17, 2018.

ELSHARBINY, Elsherbiny A. et al. Trichoderma volatile organic compounds as a biofumigation tool against late blight pathogen *Phytophthora infestans* in postharvest Potato tubers. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 68, n. 31, p. 8163-8171, 2020.

FERREIRA, Marcos David. Redução nas perdas pós-colheita em frutas e hortaliças. um grande desafio. **JC na Escola Ciência, Tecnologia e Sociedade: Mobilizar o conhecimento para alimentar o Brasil**, v. 2, p. 36-43, 2017.

GABLER, F. Mlikota et al. Influence of temperature, inoculation interval, and dosage on biofumigation with *Muscodor albus* to control postharvest gray mold on grapes. **Plant disease**, v. 90, n. 8, p. 1019-1025, 2006.

GAO, Han; LI, Gang; LOU, Hong-Xiang. Structural diversity and biological activities of novel secondary metabolites from endophytes. **Molecules**, v. 23, n. 3, p. 646, 2018.

GRIGOLETTO, Diana F. et al. Antifungal compounds with anticancer potential from *Trichoderma* sp. P8BDA1F1, an endophytic fungus from *Begonia venosa*. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 51, n. 3, p. 989-997, 2020.

GRZEGORCZYK, Monika et al. Postharvest biocontrol ability of killer yeasts against *Monilinia fructigena* and *Monilinia fructicola* on stone fruit. **Food Microbiology**, v. 61, p. 93-101, 2017.

GUPTA, Mahiti; MESHRAM, Vineet. The biological promises of endophytic Muscodor species. In: **Fungi and their role in sustainable development: current perspectives**. Springer, Singapore, 2018. p. 51-74.

HASSAN, Syed R.-U. et al. An endophytic *Nodulisporium* sp. from Central America producing volatile organic compounds with both biological and fuel potential. **Journal of microbiology and biotechnology**, v. 23, n. 1, p. 29-35, 2013.

HE, Chang et al. Effect of natamycin on *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum*—Postharvest pathogens of grape berries and jujube fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 151, p. 134-141, 2019.

HUA, Li et al. Pathogenic mechanisms and control strategies of *Botrytis cinerea* causing post-harvest decay in fruits and vegetables. **Food Quality and Safety**, v. 2, n. 3, p. 111-119, 2018.

HUANG, Xiaoqing et al. Potential of microbial endophytes to enhance the resistance to postharvest diseases of fruit and vegetables. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 5, p. 1744-1757, 2021.

HUSSEIN, Rehab A.; EL-ANSSARY, Amira A. Plants secondary metabolites: the key drivers of the pharmacological actions of medicinal plants. **Herbal Medicine**, v. 1, p. 13, 2018.

ISAH, Tasiu. Stress and defense responses in plant secondary metabolites production. **Biological research**, v. 52, 2019.

KADDES, Amine et al. Endophytic fungal volatile compounds as solution for sustainable agriculture. **Molecules**, v. 24, n. 6, p. 1065, 2019.

KHRUENGSAI, Sarunpron et al. Antifungal properties of volatile organic compounds produced by *Daldinia eschscholtzii* MFLUCC 19-0493 isolated from *Barleria prionitis* leaves against *Colletotrichum acutatum* and its post-harvest infections on strawberry fruits. **PeerJ**, v. 9, p. e11242, 2021.

KHRUENGSAI, Sarunpron et al. Biofumigation activities of volatile compounds from two *Trichoderma afroharzianum* strains against *Fusarium* infections in fresh chilies. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 2021.

KIAYA, Victor. Post-harvest losses and strategies to reduce them. **Technical Paper on Postharvest Losses, Action Contre la Faim (ACF)**, v. 25, 2014.

KORNSAKULKARN, Jitra et al. Dihydronaphthalenones from endophytic fungus *Fusarium* sp. BCC14842. **Tetrahedron**, v. 67, n. 39, p. 7540-7547, 2011.

KUMAR, Susheel; KAUSHIK, Nutan; PROKSCH, Peter. Identification of antifungal principle in the solvent extract of an endophytic fungus *Chaetomium globosum* from *Withania somnifera*. **SpringerPlus**, v. 2, n. 1, p. 1-10, 2013.

KUMAR, Deepak; KALITA, Prasanta. Reducing postharvest losses during storage of grain crops to strengthen food security in developing countries. **Foods**, v. 6, n. 1, p. 8, 2017.

KUSARI, Souvik; HERTWECK, Christian; SPITELLER, Michael. Chemical ecology of endophytic fungi: origins of secondary metabolites. **Chemistry & biology**, v. 19, n. 7, p. 792-798, 2012.

LACEY, Lawrence A.; NEVEN, Lisa G. The potential of the fungus, *Muscodora albus*, as a microbial control agent of potato tuber moth (Lepidoptera: Gelechiidae) in stored potatoes. **Journal of invertebrate pathology**, v. 91, n. 3, p. 195-198, 2006.

LASTOCHKINA, Oksana et al. *Bacillus* spp.: efficient biotic strategy to control postharvest diseases of fruits and vegetables. **Plants**, v. 8, n. 4, p. 97, 2019.

LECOMTE, Charline et al. Biological control of ornamental plant diseases caused by *Fusarium oxysporum*: a review. **Biological control**, v. 101, p. 17-30, 2016.

LEE, S. O. et al. Mycofumigation with *Oxyporus latemarginatus* EF069 for control of postharvest apple decay and *Rhizoctonia* root rot on moth orchid. **Journal of applied microbiology**, v. 106, n. 4, p. 1213-1219, 2009.

LEE, Jung Han et al. Report of postharvest rot of kiwifruit in Korea caused by *Sclerotinia sclerotiorum*. **International journal of food microbiology**, v. 206, p. 81-83, 2015.

LI, Hu-Qiang et al. Antifungal metabolites from *Chaetomium globosum*, an endophytic fungus in *Ginkgo biloba*. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 4, n. 39, p. 876-879, 2011.

LI, Xiao-Jun et al. Metabolites from *Aspergillus fumigatus*, an endophytic fungus associated with *Melia azedarach*, and their antifungal, antifeedant, and toxic activities. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 60, n. 13, p. 3424-3431, 2012.

LI, Wensheng et al. A new antifungal isocoumarin from the endophytic fungus *Trichoderma* sp. 09 of *Myoporium bontioides* A. gray. **Pharmacognosy magazine**, v. 12, n. 48, p. 259, 2016.

LI, Qiaofei et al. The biocontrol effect of *Sporidiobolus pararoseus* Y16 against postharvest diseases in table grapes caused by *Aspergillus niger* and the possible mechanisms involved. **Biological Control**, v. 113, p. 18-25, 2017.

LIARZI, Orna et al. Use of the endophytic fungus *Daldinia* cf. *concentrica* and its volatiles as bio-control agents. **PLoS One**, v. 11, n. 12, p. e0168242, 2016.

LIMA, Giuseppe et al. Biological control of postharvest diseases. **Advances in Postharvest Fruit and Vegetables Technology**, p. 65-81, 2015.

LUDWIG-MÜLLER, Jutta. Plants and endophytes: equal partners in secondary metabolite production?. **Biotechnology letters**, v. 37, n. 7, p. 1325-1334, 2015.

MALTA, Camilla Martins et al. Endophytic fungi *Eugenia dysenterica* DC as biocontrol of plant pathogens in vitro/Fungos endofíticos de *Eugenia dysenterica* DC como biocontroladores de fitopatógenos in vitro. **Journal of bioenergy and food science**, v. 2, n. 4, 2015.

MANENTE-BALESTIERI, Fátima CDL; MACHADO, Vera LL. Entomofauna visitante das flores de *Cassia spectabilis* (L.) D C.(Leguminosae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 28, n. 3, p. 429-437, 1999.

MARI, Marta et al. Postharvest biocontrol of *Monilinia laxa*, *Monilinia fructicola* and *Monilinia fructigena* on stone fruit by two *Aureobasidium pullulans* strains. **Biological Control**, v. 60, n. 2, p. 132-140, 2012.

MARI, Marta; BAUTISTA-BANOS, Silvia; SIVAKUMAR, Dharini. Decay control in the postharvest system: Role of microbial and plant volatile organic compounds. **Postharvest Biology and Technology**, v. 122, p. 70-81, 2016.

- MEDINA-ROMERO, Yoli Mariana; ROQUE-FLORES, Gonzalo; MACÍAS-RUBALCAVA, Martha Lydia. Volatile organic compounds from endophytic fungi as innovative postharvest control of *Fusarium oxysporum* in cherry tomato fruits. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 101, n. 22, p. 8209-8222, 2017.
- MERCIER, Julien; JIMÉNEZ, Jorge I. Control of fungal decay of apples and peaches by the biofumigant fungus *Muscodor albus*. **Postharvest Biology and Technology**, v. 31, n. 1, p. 1-8, 2004.
- MERCIER, Julien; SMILANICK, J. L. Control of green mold and sour rot of stored lemon by biofumigation with *Muscodor albus*. **Biological Control**, v. 32, n. 3, p. 401-407, 2005.
- MERCIER, Julien; JIMÉNEZ, Jorge I. Potential of the volatile-producing fungus *Muscodor albus* for control of building molds. **Canadian journal of microbiology**, v. 53, n. 3, p. 404-410, 2007.
- MERCIER, Julien; LEGO, Sarah F.; SMILANICK, Joseph L. In-package use of *Muscodor albus* volatile-generating sachets and modified atmosphere liners for decay control in organic table grapes under commercial conditions. **Fruits**, v. 65, n. 1, p. 31-38, 2010.
- MILES, L. A. et al. Exploring the biocontrol potential of fungal endophytes from an Andean Colombian Paramo ecosystem. **BioControl**, v. 57, n. 5, p. 697-710, 2012.
- MISHRA, Y. et al. Understanding the biodiversity and biological applications of endophytic fungi: a review. **J. Microbiol. Biochem. Technol. S**, v. 8, 2014.
- MOREIRA, LUCIENE M. et al. Controle em pós-colheita de *Monilinia fructicola* em pêssegos. **Fitopatologia brasileira**, v. 27, n. 4, p. 395-398, 2002.
- NOUMEUR, S. R.; MANCINI, V.; ROMANAZZI, G. Activity of endophytic fungi from *Artemisia absinthium* on *Botrytis cinerea*. In: III International Symposium on Postharvest Pathology: **Using Science to Increase Food Availability** 1144. 2015. p. 101-104.
- NUNES, Carla Alexandra. Biological control of postharvest diseases of fruit. **European Journal of Plant Pathology**, v. 133, n. 1, p. 181-196, 2012.
- PALOU, Lluís. *Penicillium digitatum*, *Penicillium italicum* (green mold, blue mold). In: **Postharvest Decay**. Academic Press, p. 45-102, 2014.
- PAMPFILE, JOÃO ALENCAR et al. Aplicações biotecnológicas de metabólitos secundários extraídos de fungos endofíticos: O caso do *Colletotrichum* sp. **Revista Uningá**, v. 53, n. 1, 2017.
- PAN, Feng et al. Endophytic fungus strain 28 isolated from *Houttuynia cordata* possesses wide-spectrum antifungal activity. **Brazilian journal of microbiology**, v. 47, n. 2, p. 480-488, 2016.
- PARK, Myung-Soo et al. Potential of the volatile-producing fungus *Nodulisporium* sp. CF016 for the control of postharvest diseases of apple. **The Plant Pathology Journal**, v. 26, n. 3, p. 253-259, 2010.
- PATIL, Ravindra H.; PATIL, Mohini P.; MAHESHWARI, Vijay Laxminarayan. Bioactive secondary metabolites from endophytic fungi: a review of biotechnological production and their potential applications. **Studies in natural products chemistry**, v. 49, p. 189-205, 2016.
- PERRONE, Giancarlo; SUSCA, Antonia. *Penicillium* species and their associated mycotoxins. **Mycotoxigenic fungi**, p. 107-119, 2017.
- PIMENTA, Raphael Sanzio et al. Endophytic fungi from plums (*Prunus domestica*) and their antifungal activity against *Monilinia fructicola*. **Journal of Food Protection**, v. 75, n. 10, p. 1883-1889, 2012.

RAI, Mahendra et al. Fungal growth promotor endophytes: a pragmatic approach towards sustainable food and agriculture. **Symbiosis**, v. 62, n. 2, p. 63-79, 2014.

RAMIN, Ali A. et al. In vitro effects of *Muscodor albus* and three volatile components on growth of selected postharvest microorganisms. **HortScience**, v. 40, n. 7, p. 2109-2114, 2005.

RAMIN, Ali A. et al. Biofumigation of postharvest fungal apple decay with *Muscodor albus* volatiles. **Journal of Applied Sciences Research**, v. 3, n. 4, p. 307-310, 2007.

RANA, Kusam Lata et al. Endophytic fungi: biodiversity, ecological significance, and potential industrial applications. In: Recent advancement in white biotechnology through fungi. **Springer**, Cham, 2019. p. 1-62.

REGO, Rogério do. Análise da cadeia do frio para produtos agroalimentares. 2016.

RIBEIRO, Tanara da Silva. O fungo *Trichoderma* spp. no controle de fitopatógenos: dificuldades e perspectivas. 2010.

RUSTAMOVA, Nigora et al. Novel secondary metabolites from endophytic fungi: synthesis and biological properties. **Phytochemistry Reviews**, v. 19, n. 2, p. 425-448, 2020.

SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ, Rosa Elvira et al. Antifungal volatile organic compounds from the endophyte *Nodulisporium* sp. strain GS4d2II1a: a qualitative change in the intraspecific and interspecific interactions with *Pythium aphanidermatum*. **Microbial ecology**, v. 71, n. 2, p. 347-364, 2016.

SAWICKA, B. Post-harvest Losses of Agricultural Produce. In: **Sustainable Development**. Springer Nature Switzerland, v. 1, n. 1, p. 1-16, 2019.

SCHENBERG, Ana Clara Guerrini. Biotecnologia e desenvolvimento sustentável. **Estudos avançados**, v. 24, n. 70, p. 07-17, 2010.

SCHNABEL, Guido; MERCIER, Julien. Use of a *Muscodor albus* pad delivery system for the management of brown rot of peach in shipping cartons. **Postharvest biology and technology**, v. 42, n. 1, p. 121-123, 2006.

SCHOTSMANS, Wendy C. et al. Temperature and controlled atmosphere effects on efficacy of *Muscodor albus* as a biofumigant. **Biological control**, v. 44, n. 1, p. 101-110, 2008.

SCHULZ, Barbara; BOYLE, Christine. What are endophytes?. In: Microbial root endophytes. **Springer**, Berlin, Heidelberg, 2006. p. 1-13.

SHENTU, Xuping et al. Antifungal activity of metabolites of the endophytic fungus *Trichoderma brevicompactum* from garlic. **Brazilian journal of microbiology**, v. 45, n. 1, p. 248-254, 2014.

SILVA, Geraldo H. et al. New bioactive metabolites produced by *Phomopsis cassiae*, an endophytic fungus in *Cassia spectabilis*. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 16, n. 6B, p. 1463-1466, 2005.

SILVA, Geraldo Humberto et al. Cadinane sesquiterpenoids of *Phomopsis cassiae*, an endophytic fungus associated with *Cassia spectabilis* (Leguminosae). **Phytochemistry**, v. 67, n. 17, p. 1964-1969, 2006.

SILVA, Marcia Eloisa da. Comunidades fúngicas endofítica, epifítica e rizosférica em diferentes ecossistemas. 2006.

SINGH, Dinesh; SHARMA, R. R. Postharvest diseases of fruits and vegetables and their management. In: **Postharvest disinfection of fruits and vegetables**. Academic Press, 2018. p. 1-52.

SOKOVIĆ, Marina D.; GLAMOČLIJA, Jasmina M.; ĆIRIĆ, Ana D. Natural products from plants and fungi as fungicides. **Fungicides-showcases of integrated plant disease management from around the world**, p. 185-232, 2013.

SPADARO, Davide; DROBY, Samir. Development of biocontrol products for postharvest diseases of fruit: the importance of elucidating the mechanisms of action of yeast antagonists. **Trends in Food Science & Technology**, v. 47, p. 39-49, 2016.

STONE, Jeffrey K. et al. Endophytic fungi. Biodiversity of Fungi. **Elsevier Academic Press**, Burlington, p. 241-270, 2004.

SUWANNARACH, Nakarin et al. Biofumigation with the endophytic fungus *Nodulisporium* spp. CMU-UPE34 to control postharvest decay of citrus fruit. **Crop protection**, v. 45, p. 63-70, 2013.

SUWANNARACH, Nakarin et al. Evaluation of *Muscador suthepensis* strain CMU-Cib462 as a postharvest biofumigant for tangerine fruit rot caused by *Penicillium digitatum*. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, n. 1, p. 339-345, 2016.

TAYUNG, K. et al. Antifungal activity and biocontrol potential of metabolite produced by an endophytic *Fusarium* (MTCC-9622) against some postharvest pathogens. **Journal of Agricultural Technology**, v. 6, n. 3, p. 409-419, 2010.

TELES, Helder Lopes et al. Benzopyrans from *Curvularia* sp., an endophytic fungus associated with *Ocotea corymbosa* (Lauraceae). **Phytochemistry**, v. 66, n. 19, p. 2363-2367, 2005.

TERHONEN, Eeva; SIPARI, Nina; ASIEGBU, Fred O. Inhibition of phytopathogens by fungal root endophytes of Norway spruce. **Biological Control**, v. 99, p. 53-63, 2016.

USALL, Josep; TORRES, Rosario; TEIXIDO, Neus. Biological control of postharvest diseases on fruit: a suitable alternative?. **Current Opinion in Food Science**, v. 11, p. 51-55, 2016.

VILLEMAINE, Robin; COMPAGNONE, Claude; FALCONNET, Camille. The social construction of alternatives to pesticide use: A study of biocontrol in Burgundian viticulture. **Sociologia Ruralis**, v. 61, n. 1, p. 74-95, 2021.

VINALE, F. et al. Secondary metabolites from the endophytic fungus *Talaromyces pinophilus*. **Natural product research**, v. 31, n. 15, p. 1778-1785, 2017.

YADAV, Ajar Nath. Biodiversity and biotechnological applications of host-specific endophytic fungi for sustainable agriculture and allied sectors. **Acta Sci Microbiol**, v. 1, p. 01-05, 2018.

YEH, C. C. et al. Potential of a volatile-producing endophytic fungus *Nodulisporium* sp. PDL-005 for the control of *Penicillium digitatum*. **Biological Control**, v. 152, p. 104459, 2021.

YU, Leilei et al. Postharvest control of *Penicillium expansum* in fruits: A review. **Food Bioscience**, p. 100633, 2020.

ZANARDI, Lisinéia M. et al. Sesquiterpenos produzidos pelo fungo endofítico *Phomopsis cassiae* com atividade antifúngica e inibidora de acetilcolinesterase. **Química Nova**, v. 35, n. 11, p. 2233-2236, 2012.

ZAYNAB, Madiha et al. Role of secondary metabolites in plant defense against pathogens. **Microbial pathogenesis**, v. 124, p. 198-202, 2018.

ZHANG, Qinghua et al. Diversity and biocontrol potential of endophytic fungi in Brassica napus. **Biological control**, v. 72, p. 98-108, 2014.

ZHANG, Xiaokang et al. Antagonistic yeasts: a promising alternative to chemical fungicides for controlling postharvest decay of fruit. **Journal of Fungi**, v. 6, n. 3, p. 158, 2020.

ZHENG, You-Kun et al. Diversity, distribution and biotechnological potential of endophytic fungi. **Annals of Microbiology**, v. 66, n. 2, p. 529-542, 2016.

ZHOU, Xuanwei et al. A review: recent advances and future prospects of taxol-producing endophytic fungi. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 86, n. 6, p. 1707-1717, 2010.