

CAPÍTULO 6

Potencial de óleos essenciais no controle de *Colletotrichum* em pós-colheita

Naianni de Sillis Rezende, Sara de Oliveira Olimpio, Rony Mendes Rodrigues, Ana Terra Bravim dos Santos, Willian Moreira da Costa, Atanásio Alves do Amaral, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-45-9.c6>

Resumo

A antracnose, causada por fungos do gênero *Colletotrichum*, constitui uma das principais doenças de pós-colheita em diversas culturas tropicais, provocando expressivas perdas econômicas. Diante das crescentes restrições ao uso de fungicidas sintéticos, alternativas sustentáveis baseadas na bioeconomia e nos princípios da agroecologia têm ganhado destaque no manejo fitossanitário. Nesse contexto, óleos essenciais e extratos vegetais vêm sendo amplamente investigados por sua ação fungitóxica e composição bioativa. O óleo de capim-santo (*Cymbopogon citratus*), rico em citral, demonstrou elevada eficiência no controle da antracnose em maracujá e mamão, tanto *in vitro* quanto *in vivo*, superando fungicidas em baixas concentrações. O alecrim-pimenta (*Lippia sidoides*), com timol, e a alfavaca-cravo (*Ocimum gratissimum*), com eugenol, também apresentaram resultados promissores. Extratos cítricos e óleo de alho (*Allium sativum*) destacaram-se no controle em banana, enquanto menta (*Mentha piperita*) e árvore-do-chá (*Melaleuca alternifolia*) foram eficazes em mamão. Contudo, a eficácia varia conforme a dose, o hospedeiro e as condições experimentais, além de limitações como fitotoxicidade. Assim, tais alternativas representam estratégias promissoras, desde que integradas a práticas sustentáveis para garantir qualidade e segurança na produção.

Palavras-chave: Bioeconomia. Extratos vegetais. Compostos bioativos. Fitopatologia. Pós-colheita.

1. Introdução

A fruticultura, setor em constante expansão no Brasil e no mundo, enfrenta desafios relevantes relacionados às doenças de pós-colheita, que comprometem a qualidade, a aparência e a vida útil dos frutos, restringindo sua competitividade nos mercados interno e externo (Corrêa *et al.*, 2023). Dentre as principais enfermidades, destaca-se a antracnose, causada por fungos do gênero *Colletotrichum*, especialmente as espécies *Colletotrichum gloeosporioides* e *Colletotrichum musae*. Essa doença é considerada uma das mais importantes em frutas tropicais, como maracujá, manga, mamão e banana (Aquino *et al.*, 2012; Cruz *et al.*, 2013; Araújo Neto *et al.*, 2014; Andrade; Vieira, 2016; Oliveira; Viana; Martins, 2016).

Os sintomas da antracnose caracterizam-se por lesões escuras e deprimidas na superfície dos frutos, que podem coalescer e atingir a polpa em estágios avançados, ocasionando perdas expressivas (Figura 1). No Brasil, essas perdas podem alcançar até 40% da produção na fase pós-colheita (Aquino *et al.*, 2012). Além disso, o patógeno pode permanecer em estado latente em frutos ainda imaturos, manifestando-se apenas durante o amadurecimento, quando as condições ambientais se tornam favoráveis (Cruz *et al.*, 2013).



Figura 1. Lesões características causadas pelo fungo *Colletotrichum gloeosporioides* em mangas (*Mangifera indica* L.). Fonte: elaborada por Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (Google Gemini).

Tradicionalmente, de acordo com esses mesmos autores, o controle da antracnose baseia-se no uso de fungicidas sintéticos. Contudo, a crescente preocupação com a segurança alimentar, a presença de resíduos químicos nos alimentos, a resistência de patógenos e os impactos e externalidades ambientais negativos, têm impulsionado a busca por alternativas sustentáveis. Nesse cenário, os óleos essenciais e extratos vegetais emergem como alternativas promissoras, devido às suas propriedades antimicrobianas, biodegradabilidade e menor toxicidade, sendo compatíveis com sistemas de produção mais sustentáveis (Figura 2).



Figura 2. A OCDE e a ONU advertem: a transição para sistemas alimentares sustentáveis e biorracionais é o caminho imperativo para garantir a segurança alimentar global. Fonte: elaborada por Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (NotebookLM).

Sob a perspectiva da bioeconomia, o uso de óleos essenciais no controle de fitopatógenos representa uma estratégia inovadora que valoriza recursos biológicos renováveis e promove a agregação de valor à biodiversidade. A bioeconomia baseia-se na utilização sustentável de recursos naturais para a geração de produtos, processos e serviços, reduzindo a dependência de insumos sintéticos e fósseis (OECD, 2009; EMBRAPA, 2018).

Nesse contexto, a exploração de compostos bioativos de plantas aromáticas e medicinais pode impulsionar cadeias produtivas locais, fomentar a

inovação tecnológica e contribuir para o desenvolvimento rural sustentável, especialmente em regiões tropicais ricas em biodiversidade (Figura 3).

	Abordagem Sintética Tradicional ⚠	Nanobiotecnologia de OEs 🌿
Mecanismo de Ação	🔦 <u>Alvo único</u> , alta taxa de resistência.	⬆️ <u>Ação sinérgica e complexa celular</u> , resistência quase nula.
Impacto Ambiental	<u>Acúmulo tóxico</u> , dano a organismos não-alvo.	⬆️ <u>Totalmente biodegradável</u> , origem botânica renovável.
Segurança Alimentar	<u>Risco grave de resíduos</u> em alimentos.	⬆️ <u>Alta segurança</u> , compostos food-grade.
Versatilidade	<u>Uso isolado</u> e altamente específico.	⬆️ <u>Amplo espectro</u> : fungicida, bactericida, anestésico.

Figura 3. Sistematização das diferenças entre a abordagem sintética tradicional e o uso da nanobiotecnologia⁹ no desenvolvimento de produtos à base de OEs. Fonte: Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (NotebookLM).

Do ponto de vista agroecológico e ambiental, a substituição de insumos químicos por alternativas naturais, como óleos essenciais, está alinhada aos princípios da agroecologia, que preconiza sistemas produtivos mais equilibrados, resilientes e integrados ao meio ambiente (Altieri, 2012; Gliessman, 2015). Essa abordagem contribui para a redução da contaminação do solo, da água e dos alimentos, além de preservar a biodiversidade funcional e promover serviços ecossistêmicos essenciais (Souza, 2025). Dessa forma, o uso de produtos naturais no manejo de doenças pós-colheita não apenas reduz impactos ambientais, mas também fortalece sistemas agrícolas mais sustentáveis e socialmente justos.

2. Fungos do gênero *Colletotrichum* em diferentes hospedeiros

Os fungos do gênero *Colletotrichum* estão entre os principais agentes fitopatogênicos associados a doenças em espécies agrícolas de importância econômica mundial. Esses microrganismos são responsáveis principalmente pela antracnose, enfermidade que afeta frutos, folhas, ramos e flores, causando

⁹ É a interseção entre [nanotecnologia](#) e biotecnologia, focada na manipulação da matéria em escala atômica/molecular (1 a 100 nanômetros) para criar materiais e dispositivos com aplicações biológicas.

lesões necróticas que reduzem a produtividade e comprometem a qualidade comercial dos produtos agrícolas. Segundo Cannon *et al.* (2012), espécies desse gênero apresentam ampla distribuição geográfica e elevada capacidade de adaptação, infectando numerosos hospedeiros em ambientes tropicais e subtropicais.

Em frutíferas tropicais, como manga, mamão, banana e maracujá, *Colletotrichum* constitui um dos principais problemas fitossanitários da fase pós-colheita. Em manga, *Colletotrichum gloeosporioides* é frequentemente relatado como o principal agente da antracnose, provocando manchas escuras e deprimidas que evoluem rapidamente durante o amadurecimento dos frutos (Araújo *et al.*, 2014).

Em banana, *Colletotrichum musae* é a espécie mais associada à deterioração pós-colheita, causando perdas significativas durante o armazenamento e transporte (Cruz *et al.*, 2013). No mamoeiro, a doença reduz a vida útil dos frutos e afeta diretamente a comercialização em mercados exigentes (Andrade; Vieira, 2016) (Figura 4).



Figura 4. Relevância global do gênero *Colletotrichum*: o oitavo maior agente causal de doenças em frutos no mundo. Fonte: elaborada por Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (NotebookLM).

Além das frutíferas, espécies de *Colletotrichum* também afetam culturas anuais e hortaliças. Em pimentão, tomate e feijão, por exemplo, o patógeno pode causar lesões em frutos e sementes, favorecendo a redução do vigor das plantas

e a disseminação da doença entre áreas cultivadas. Dean *et al.* (2012) destacam que a interação entre o patógeno e o hospedeiro envolve mecanismos complexos de infecção, nos quais o fungo pode permanecer em estado quiescente até que condições favoráveis permitam o desenvolvimento dos sintomas. Essa característica torna o manejo mais difícil, especialmente em sistemas intensivos de produção.

A especificidade entre espécies de *Colletotrichum* e seus hospedeiros tem sido amplamente estudada devido à grande variabilidade genética observada no gênero. De acordo com Weir *et al.* (2012), avanços em técnicas moleculares permitiram identificar complexos de espécies antes agrupadas sob o nome de *C. gloeosporioides*, revelando diferenças importantes quanto à patogenicidade e à preferência por determinados hospedeiros. Esse conhecimento é essencial para o desenvolvimento de estratégias de manejo mais eficientes, considerando a relação específica entre fungo e planta infectada (Figura 5).

Óleo Essencial	CIM (Concentração Inibitória Mínima)	Tempo para Aniquilação
Óleo de Nim	6,25%	30 minutos
Óleo de Melaleuca	0,80%	40 minutos
Óleo de Capim-Limão	3,20%	40 minutos
Óleo de Copaíba	25,00%	40 minutos



O Nim atinge **100% de letalidade fúngica** na **metade do tempo** dos concorrentes químicos, enquanto a **Melaleuca** exige **doses microscópicas (0,80%)** devido ao seu alto teor de terpinen-4-ol.

Figura 5. Controle *in vitro* do patógeno *C. gloeosporioides*. Fonte: elaborada por Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (NotebookLM).

As condições ambientais também exercem forte influência sobre o desenvolvimento da doença em diferentes hospedeiros. Temperaturas elevadas e alta umidade relativa favorecem a germinação dos conídios e a penetração do fungo nos tecidos vegetais, tornando regiões tropicais particularmente suscetíveis à ocorrência da antracnose (Bailey; Jeger, 1992; Amorim; Rezende; Bergamin Filho, 2016). Além disso, ferimentos mecânicos nos frutos durante a

colheita e o transporte podem aumentar a incidência da infecção, intensificando os prejuízos econômicos.

Diante da ampla gama de hospedeiros e da importância econômica das doenças causadas por *Colletotrichum*, torna-se fundamental compreender sua diversidade biológica e epidemiológica. O conhecimento das interações entre patógeno, hospedeiro e ambiente contribui para o desenvolvimento de estratégias de controle mais sustentáveis, reduzindo perdas e promovendo maior segurança na produção agrícola. Nesse contexto, estudos voltados à identificação precisa das espécies e ao uso de alternativas menos agressivas ao meio ambiente têm recebido crescente atenção da comunidade científica (Figura 6).



Figura 6. Acordo Mercosul-UE: fim das tarifas e o desafio das barreiras sanitárias. Fonte: elaborada por Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (NotebookLM).

3. Óleos essenciais

Os óleos essenciais são misturas complexas de compostos orgânicos voláteis, produzidos pelo metabolismo secundário de plantas, e apresentam ampla diversidade de atividades biológicas, incluindo ações fungitóxicas e fungistáticas¹⁰ (Aquino *et al.*, 2012). Esses metabólitos, formados principalmente por terpenos, terpenoides e fenóis, têm sido amplamente estudados como alternativas no controle de fitopatógenos, especialmente em sistemas que

¹⁰ São agentes (químicos, medicamentos ou defensivos agrícolas) que inibem temporariamente o crescimento e a reprodução dos fungos, sem eliminá-los completamente.

buscam reduzir o uso de insumos sintéticos. Nesse contexto, diversos trabalhos têm demonstrado a eficiência desses compostos no controle de patógenos de pós-colheita, incluindo fungos do gênero *Colletotrichum*, em diferentes culturas frutíferas (Cannon *et al.*, 2012; Cruz *et al.*, 2013).

A eficácia dos óleos essenciais no controle de patógenos está diretamente relacionada à sua composição química, que pode variar significativamente em função de fatores como condições edafoclimáticas, estágio fenológico da planta, variabilidade genética e método de extração (Burt, 2004; Aquino *et al.*, 2012). Compostos majoritários como citral, timol e eugenol são frequentemente associados à atividade antifúngica, atuando na desestabilização da membrana celular dos microrganismos e na inibição de processos metabólicos essenciais (Burt, 2004; Bakkali *et al.*, 2008). Essa variabilidade química influencia diretamente a eficácia dos óleos, exigindo padronização para seu uso em escala comercial.

Além disso, estudos indicam que a ação dos óleos essenciais pode variar conforme o hospedeiro e o patógeno, bem como entre condições experimentais *in vitro* e *in vivo*. Em muitos casos, observa-se maior eficiência em condições laboratoriais, enquanto fatores como interação com o tecido vegetal, volatilização e degradação podem reduzir a eficácia em aplicações práticas (Cruz *et al.*, 2013; Andrade; Vieira, 2016). Ainda assim, os resultados obtidos são promissores, especialmente quando os óleos são utilizados em concentrações adequadas ou associados a outras estratégias de manejo.

Outro aspecto relevante refere-se ao modo de ação desses compostos, que envolve múltiplos mecanismos, dificultando o desenvolvimento de resistência por parte dos patógenos. De acordo com Bakkali *et al.* (2008), os óleos essenciais podem atuar simultaneamente na permeabilidade da membrana celular, na inibição enzimática e na interferência em processos fisiológicos do fungo. Essa característica os torna particularmente interessantes no contexto do manejo integrado de doenças, contribuindo para sistemas de produção mais resilientes (Figura 6).

Dessa forma, considerando a variabilidade química, os mecanismos de ação e a influência de fatores ambientais, torna-se evidente que o uso de óleos essenciais no controle de fungos fitopatogênicos requer abordagens integradas

e bem fundamentadas. Assim, dando continuidade à discussão apresentada, serão detalhados, a seguir, resultados de pesquisas envolvendo diferentes óleos essenciais no controle de espécies de *Colletotrichum* em distintos hospedeiros, evidenciando seu potencial e suas limitações em condições experimentais e aplicadas.

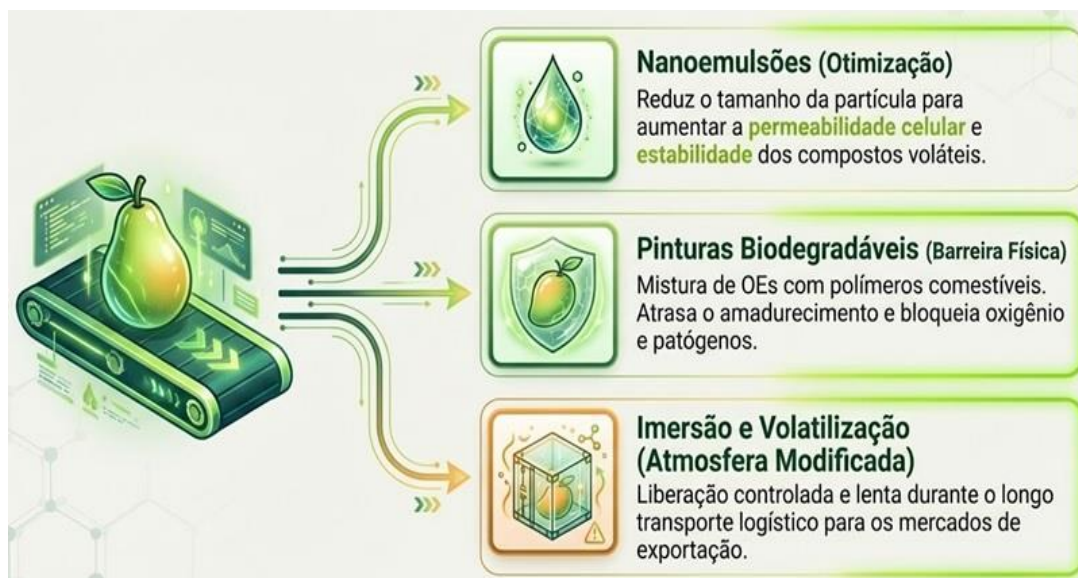


Figura 7. Arquitetura de sistemas de aplicação de óleos essenciais na logística pós-colheita de frutos. Fonte: elaborada por Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (NotebookLM).

✚ Diferenças entre óleos essenciais e extratos vegetais

Óleos essenciais e extratos vegetais, embora frequentemente tratados como sinônimos, apresentam diferenças marcantes quanto à origem, composição química, método de obtenção e modo de ação. Os óleos essenciais correspondem a frações voláteis extraídas, em geral, por destilação por arraste a vapor ou prensagem, sendo constituídos predominantemente por compostos de baixa massa molecular, como monoterpenos, sesquiterpenos e fenóis (Burt, 2004; Bakkali *et al.*, 2008; Dhifi, 2016; Raveau *et al.*, 2020).

Entre esses compostos, destacam-se substâncias como citral, timol e eugenol, amplamente reconhecidas por sua elevada atividade antifúngica. Devido à sua natureza hidrofóbica e à alta concentração de princípios ativos, os óleos essenciais tendem a apresentar ação rápida e intensa sobre microrganismos, incluindo fungos fitopatogênicos do gênero *Colletotrichum*

(Burt, 2004; Bakkali *et al.*, 2008). No entanto, sua elevada volatilidade e sensibilidade a fatores ambientais podem limitar sua persistência e eficácia em condições de campo (Hyltdgaard; Mygind; Meyer, 2012; Dhifi, 2016; Raveau *et al.*, 2020).

Por outro lado, os extratos vegetais são obtidos a partir do uso de solventes, como água, etanol ou outros compostos orgânicos, permitindo a extração de uma gama mais ampla de metabólitos secundários. Diferentemente dos óleos essenciais, os extratos incluem tanto compostos voláteis quanto não voláteis, como flavonoides, taninos, alcaloides e outros fenólicos, o que confere a esses produtos uma ação biológica mais diversificada (Pattnaik *et al.*, 1996; Dhifi, 2016; Raveau *et al.*, 2020).

Embora, em geral, apresentem menor concentração de compostos antifúngicos específicos quando comparados aos óleos essenciais, os extratos vegetais tendem a ser mais estáveis e, em muitos casos, menos fitotóxicos, o que pode favorecer sua aplicação prática em sistemas agrícolas (Nguefack *et al.*, 2004; Raveau *et al.*, 2020).

No contexto do controle da antracnose, causada por espécies de *Colletotrichum*, os óleos essenciais frequentemente demonstram maior eficiência em ensaios *in vitro*, devido à sua capacidade de desestabilizar membranas celulares e interferir em processos metabólicos fundamentais dos fungos (Bakkali *et al.*, 2008). Por outro lado, os extratos vegetais, apesar de apresentarem ação geralmente menos intensa, podem oferecer vantagens em condições *in vivo*, como maior persistência, menor volatilização e menor risco de danos aos tecidos vegetais (Hyltdgaard; Mygind; Meyer, 2012). Dessa forma, a escolha entre óleos essenciais e extratos vegetais deve considerar não apenas a eficácia antifúngica, mas também aspectos como estabilidade, segurança, custo e viabilidade de aplicação.

Assim, do ponto de vista técnico e científico, a distinção entre esses dois tipos de produtos é fundamental para a adequada interpretação dos resultados experimentais e para o desenvolvimento de estratégias de manejo mais eficientes e sustentáveis. A integração de ambos, associada a outras práticas de manejo, pode representar uma abordagem promissora no controle de doenças pós-colheita, contribuindo para a redução do uso de fungicidas sintéticos e para

a promoção de sistemas agrícolas mais alinhados aos princípios da sustentabilidade e da agroecologia.

A seguir, são apresentados exemplos de óleos essenciais amplamente investigados na literatura científica, evidenciando resultados consistentes e um potencial promissor no controle de fitopatógenos. Esses estudos destacam não apenas a eficácia biológica dessas substâncias, mas também sua relevância como alternativas sustentáveis no manejo fitossanitário.

3.1. Capim-santo (*Cymbopogon citratus*)

Este óleo apresenta o citral (77,74%) como componente majoritário, composto pelos isômeros E-citral (43,69%) e Z-citral (34,05%), além do β -mirceno (15,11%). Em frutos de maracujá, o óleo de *C. citratus* proporcionou o menor diâmetro das lesões de antracnose até a concentração de $6 \mu\text{L mL}^{-1}$. Na concentração de $8 \mu\text{L mL}^{-1}$, esse óleo, assim como os de alecrim-pimenta e alfavaca-cravo, inibiu completamente o desenvolvimento do fungo *Colletotrichum gloeosporioides* (Aquino *et al.*, 2012) (Figura 8).



Figura 8. Capim-santo (*Cymbopogon citratus*). Fonte: Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (NotebookLM).

De acordo com Aquino *et al.* (2012), estudos anteriores indicam que o óleo de *C. citratus* foi tão eficiente quanto o fungicida Imidazole® em baixas

concentrações (0,12 e 0,25 mg L⁻¹) no controle de *C. gloeosporioides* em maracujá, sem causar distúrbios fisiológicos. Observou-se também que esse óleo reduziu a área lesionada e a severidade da doença em mamão, evidenciando sua eficácia no controle pós-colheita.

Apesar dos resultados promissores, um estudo com mamoeiro indicou baixa eficiência do óleo de capim-limão na inibição da germinação de conídios de *C. gloeosporioides*, possivelmente devido à sua elevada volatilidade. No entanto, em concentrações entre 10 e 100 µL, o óleo apresentou efeito fungistático significativo, reduzindo o desenvolvimento do patógeno (Andrade; Vieira, 2016).

3.2. Alecrim-pimenta (*Lippia sidoides*)

O timol (30,24%) é o componente majoritário do óleo de *L. sidoides*, acompanhado por benzeno (14,49%), trans-β-cariofileno (11,82%), borneol (11,38%) e metil-timol éter (8,32%). Em maracujá, na concentração de 8 µL mL⁻¹, o óleo de *L. sidoides* inibiu completamente o desenvolvimento de *Colletotrichum gloeosporioides* (Aquino *et al.*, 2012) (Figura 9).



Figura 9. Alecrim-pimenta (*Lippia sidoides*). Fonte: Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (Google Gemini).

Estudos *in vitro* com banana demonstraram que extratos e óleos essenciais de *Lippia sidoides* foram altamente eficazes, inibindo 100% do crescimento do patógeno *Colletotrichum musae*, com desempenho semelhante ao controle químico. No entanto, em ensaios *in vivo* em banana, o óleo de alecrim-pimenta apresentou apenas 30% de inibição no desenvolvimento das lesões, sendo considerado menos eficiente quando comparado ao controle químico (Oliveira; Viana; Martins, 2016).

A atividade fungitóxica desse óleo também foi relatada contra outros fitopatógenos, como *Botrytis cinerea*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus* e espécies do gênero *Fusarium*, evidenciando seu amplo espectro de ação antifúngica (Andrade; Vieira, 2016). Esses resultados sugerem que a eficácia observada *in vitro* nem sempre se traduz diretamente em condições de campo, possivelmente devido a fatores como volatilização, degradação dos compostos ativos e interação com variáveis ambientais.

Além disso, aspectos como concentração, forma de aplicação e estágio de desenvolvimento do patógeno podem influenciar significativamente os resultados *in vivo*. A composição química do óleo essencial, frequentemente variável em função das condições edafoclimáticas e do manejo da planta, também pode impactar sua atividade biológica. Nesse sentido, estudos adicionais são necessários para otimizar formulações e estratégias de aplicação, visando aumentar a persistência e a eficiência desses compostos em condições reais de cultivo. Dessa forma, os óleos essenciais despontam como alternativas promissoras, especialmente quando integrados a outras práticas de manejo sustentável no controle de doenças de plantas.

3.3. Alfavaca-cravo (*Ocimum gratissimum*)

Este óleo destaca-se pelo elevado teor de eugenol (92,89%) como componente majoritário, seguido pelo β -bisaboleno (5,92%). De forma semelhante a outros óleos essenciais, na concentração de 8 $\mu\text{L mL}^{-1}$, o óleo de *O. gratissimum* inibiu completamente o desenvolvimento de *Colletotrichum gloeosporioides* em maracujá. O eugenol também demonstrou elevada eficácia na redução de patógenos de pós-colheita em frutos como maçãs e ameixas,

evidenciando seu potencial como agente antifúngico natural (Aquino *et al.*, 2012) (Figura 10).



Figura 10. Alfavaca-cravo (*Ocimum gratissimum*). Fonte: elaborada por Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (Google Gemini).

A atividade fungitóxica desse óleo foi igualmente confirmada em ensaios *in vitro* contra *C. gloeosporioides*, reforçando sua eficiência no controle de fitopatógenos associados à antracnose (Oliveira; Viana; Martins, 2016).

3.4. Óleo de copaíba (*Copaífera* spp.)

O óleo de copaíba é constituído predominantemente por sesquiterpenos, como o β -cariofileno, associado à atividade antifúngica, e por diterpenos, cuja presença no óleo-resina pode promover efeito sinérgico com os sesquiterpenos. Esse óleo apresenta reconhecida eficácia no controle de diferentes espécies fúngicas, incluindo *Colletotrichum gloeosporioides*. Em ensaios *in vitro*, tanto o óleo essencial quanto o óleo-resina de copaíba inibiram o crescimento do patógeno. O óleo-resina mostrou maior eficiência, reduzindo a área da colônia em 97,1% na concentração de 1,5 mL L⁻¹, enquanto o óleo essencial promoveu redução de 88,9% na concentração de 2,0 mL L⁻¹ (Figura 11).



Figura 11. Óleo de copaíba (*Copaifera* spp.). Fonte: elaborada por Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (Google Gemini).

Entretanto, em condições *in vivo*, em frutos de maracujá, o óleo essencial de copaíba, nas concentrações entre 0,25 e 1,0 mL L⁻¹, não apresentou eficácia significativa no controle da severidade da antracnose nem na redução do número de lesões. Adicionalmente, o uso do óleo-resina pode causar oleosidade superficial e odor desagradável nos frutos, comprometendo sua qualidade comercial (Araújo *et al.*, 2014).

3.5. Cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum*)

Os principais constituintes do cravo-da-índia são o eugenol e o β -cariofileno, compostos amplamente reconhecidos por sua ação antimicrobiana (Oliveira; Viana; Martins, 2016). Em banana, a aplicação de emulsão do óleo essencial de *S. aromaticum* resultou em menor severidade da doença e maior eficiência no controle da antracnose quando comparada ao tratamento controle (Cruz *et al.*, 2013).

Ensaios *in vitro* com *Colletotrichum musae* demonstraram que o óleo de cravo-da-índia inibiu completamente o crescimento do fungo em todas as concentrações testadas (25, 50 e 100 μ L/100 mL de BDA), apresentando desempenho equivalente ao de fungicidas sintéticos. Entretanto, em aplicações

in vivo em banana, observou-se escurecimento total da casca dos frutos, indicando efeito fitotóxico na concentração utilizada (Oliveira; Viana; Martins, 2016) (Figura 12).



Figura 12. Cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum*): botão floral seco. Fonte: elaborada por Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (Chat GPT).

Em estudos com manga, o óleo essencial de cravo também se mostrou eficiente na inibição do crescimento micelial de *Colletotrichum gloeosporioides*, reforçando seu potencial no controle de patógenos associados à antracnose em diferentes hospedeiros (Corrêa *et al.*, 2023).

3.6. Eucalipto (*Eucalyptus citriodora* / *Eucalyptus globulus*)

Extratos e óleos essenciais de eucalipto foram avaliados quanto ao seu potencial no controle de fungos do gênero *Colletotrichum*. Em ensaios *in vitro* com *Colletotrichum musae*, o extrato de eucalipto apresentou efeito inibitório crescente sobre o crescimento micelial, atingindo até 97% de inibição na concentração de 30% (Figura 13).

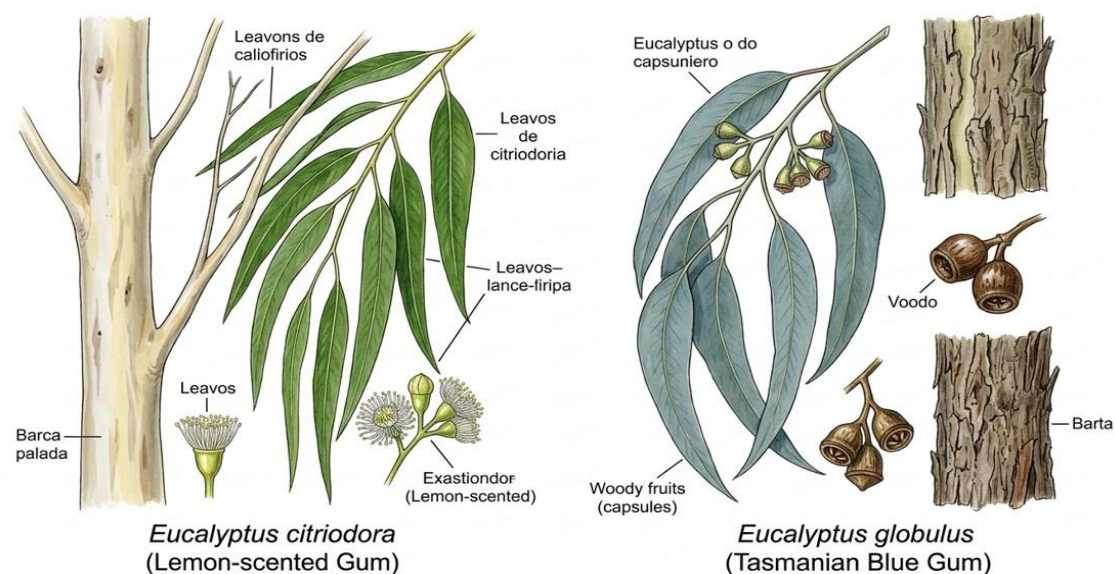


Figura 13. Eucalipto (*Eucalyptus citriodora* / *Eucalyptus globulus*). Fonte: Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (Google Gemini).

Por outro lado, o óleo essencial de eucalipto demonstrou baixo efeito inibitório em todas as concentrações testadas em condições *in vitro*. Em experimentos *in vivo* com banana, o óleo proporcionou apenas 26% de inibição no desenvolvimento da doença, sendo considerado pouco eficiente quando comparado ao controle químico (Oliveira; Viana; Martins, 2016) (Figura 14).

Esse desempenho limitado pode estar associado à composição química específica do óleo, cujos compostos majoritários podem apresentar menor atividade antifúngica frente ao patógeno avaliado. Além disso, fatores como volatilidade elevada e rápida degradação dos princípios ativos podem reduzir sua persistência na superfície dos tecidos vegetais, comprometendo sua eficácia em condições reais de cultivo. A interação com fatores ambientais, como temperatura, radiação solar e umidade, também tende a influenciar negativamente sua ação *in vivo*.

Outro aspecto relevante refere-se à possível dificuldade de penetração dos compostos ativos nas estruturas do patógeno ou nos tecidos infectados. Dessa forma, embora o óleo de eucalipto apresente propriedades biológicas reconhecidas, sua aplicação no controle de fitopatógenos específicos pode demandar ajustes em formulações, como o uso de emulsificantes ou tecnologias

de liberação controlada. Assim, seu uso isolado pode ser limitado, sendo mais promissor quando integrado a estratégias combinadas de manejo fitossanitário.



Figura 14. Eucalipto (*Eucalyptus citriodora* / *Eucalyptus globulus*): folhas, óleo essencial e madeira. Fonte: Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (Chat GPT).

3.7. Alho (*Allium sativum*)

O óleo essencial de alho apresenta uma composição complexa, contendo compostos bioativos como alicina, ajoeno, acetaldeído, citral, eugenol, geraniol e linalol, entre outros, os quais estão associados à sua reconhecida atividade antimicrobiana (Figura 15). Esses compostos atuam de forma sinérgica, interferindo em processos metabólicos essenciais dos microrganismos, como a integridade da membrana celular e a atividade enzimática. A alicina, em particular, destaca-se por sua elevada reatividade, sendo capaz de inibir o crescimento de uma ampla gama de fungos e bactérias fitopatogênicas. Além disso, o óleo de alho apresenta potencial como indutor de resistência em plantas, estimulando mecanismos de دفاع naturais. No entanto, sua eficácia pode variar em função da concentração, da forma de aplicação e das condições ambientais, o que reforça a necessidade de estudos que otimizem seu uso em sistemas produtivos sustentáveis (Cruz *et al.*, 2013).

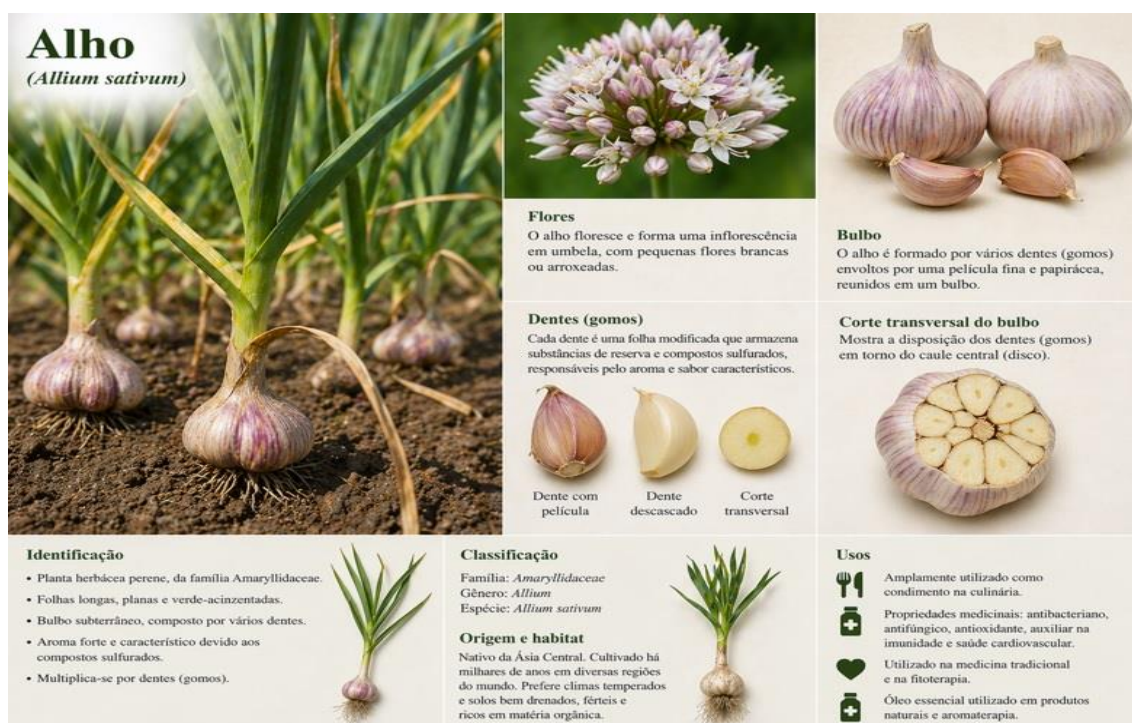


Figura 15. Alho (*Allium sativum*): bulbo (dentes), folhas e óleo essencial. Fonte: elaborada por Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (Chat GPT).

Em banana, a imersão dos frutos em emulsão de óleo essencial de *Allium sativum* resultou na menor severidade da doença e no maior percentual de controle da antracnose, atingindo 86,27% de eficiência contra *Colletotrichum musae*, superando outros óleos essenciais avaliados (Cruz *et al.*, 2013).

De acordo com esses mesmos autores, esse elevado nível de controle evidencia o potencial do óleo de alho como alternativa eficaz no manejo pós-colheita de doenças fúngicas. Tal desempenho pode estar relacionado à alta concentração de compostos sulfurados, especialmente a alicina, que apresenta forte ação fungitóxica. Além disso, a forma de aplicação por imersão favorece maior contato entre o produto e a superfície do fruto, aumentando sua eficácia. Esses resultados reforçam a viabilidade do uso de óleos essenciais em estratégias de manejo integrado, contribuindo para a redução do uso de fungicidas sintéticos e para a adoção de práticas mais sustentáveis na cadeia produtiva da banana.

3.8. Árvore-chá (*Melaleuca alternifolia*)

Em estudos com mamoeiro, o óleo essencial de árvore-chá demonstrou forte ação sobre o desenvolvimento de *Colletotrichum gloeosporioides*, afetando significativamente a germinação de conídios. Na concentração de 100 μL , o óleo inibiu completamente o crescimento micelial do fungo, tanto em condições *in vitro* quanto *in vivo*.

Apesar desses resultados expressivos em concentrações mais elevadas, o óleo de *M. alternifolia* foi, de modo geral, classificado como de eficiência mediana quando comparado a outros óleos essenciais avaliados para o controle da antracnose (Andrade; Vieira, 2016) (Figura 16).



Figura 16. Árvore-chá (*Melaleuca alternifolia*). Fonte: elaborada por Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (Chat GPT).

A Figura 16 ilustra a espécie *Melaleuca alternifolia*, amplamente reconhecida pela produção de óleo essencial com propriedades antimicrobianas relevantes. No contexto fitossanitário, seus compostos bioativos, como terpinen-4-ol e cineol, desempenham papel fundamental na inibição de microrganismos, atuando sobre a permeabilidade da membrana celular e comprometendo o metabolismo fúngico. No entanto, a eficiência observada está fortemente

condicionada à concentração utilizada e à forma de aplicação, o que pode limitar sua viabilidade em condições de campo. Além disso, fatores como custo, disponibilidade e estabilidade do óleo devem ser considerados na sua adoção em escala comercial. Dessa forma, embora apresente potencial no controle de fitopatógenos, o óleo de árvore-chá tende a ser mais eficaz quando integrado a outras estratégias de manejo, compondo abordagens sustentáveis e multifatoriais no controle da antracnose (Andrade; Vieira, 2016).

3.9. Menta (*Mentha piperita*)

De forma semelhante ao óleo de árvore-chá, o óleo essencial de menta apresentou elevada eficácia no controle de *Colletotrichum gloeosporioides* em mamoeiro. Na concentração de 100 μL , observou-se inibição completa do crescimento micelial do fungo, tanto em condições *in vitro* quanto *in vivo*.

Esses resultados corroboram outros estudos que também demonstraram a alta atividade antifúngica do óleo essencial de *M. piperita* em ensaios *in vitro*, reforçando seu potencial no controle de patógenos associados à antracnose (Andrade; Vieira, 2016) (Figura 17).



Figura 17. Menta (*Mentha piperita*). Fonte: elaborada por Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (Chat GPT).

A Figura 17 destaca a espécie *Mentha piperita*, cujo óleo essencial é rico em compostos como mentol e mentona, amplamente associada à sua expressiva atividade antifúngica. Esses metabólitos secundários atuam diretamente na integridade das membranas celulares dos fungos, promovendo desorganização estrutural e inibição do crescimento micelial (Andrade; Vieira, 2016).

No entanto, para esses mesmos autores, assim como observado para outros óleos essenciais, a eficácia do óleo de menta pode variar em função de fatores como concentração, forma de aplicação e condições ambientais. Além disso, sua elevada volatilidade pode limitar a persistência do efeito em condições de campo. Ainda assim, seu potencial como agente de controle biológico é significativo, especialmente quando inserido em estratégias integradas de manejo fitossanitário, alinhadas aos princípios da sustentabilidade e à redução do uso de insumos químicos sintéticos.

3.10. Anis (*Pimpinella anisum*) e canela (*Cinnamomum zeylanicum*)

Em estudos com mamoeiro, os óleos essenciais de anis (*Pimpinella anisum*) e canela (*Cinnamomum zeylanicum*) apresentaram baixa eficiência na inibição da germinação de conídios de *Colletotrichum gloeosporioides* em condições *in vitro*. No entanto, em concentrações mais elevadas, ambos os óleos demonstraram efeito fungistático, contribuindo para a redução do crescimento micelial e do diâmetro das lesões em condições *in vivo* (Andrade; Vieira, 2016) (Figura 18).

Além disso, o óleo essencial de canela (*C. zeylanicum*) tem sido associado à atividade fungicida contra patógenos causadores da podridão da coroa e da antracnose em banana. Contudo, apesar de sua ação antifúngica, observou-se que frutos tratados com esse óleo apresentaram alterações indesejáveis na coloração da casca, tornando-os inadequados para consumo, o que limita sua aplicação prática (Cruz *et al.*, 2013).

Para esses mesmos autores, esses resultados evidenciam que a eficácia biológica dos óleos essenciais deve ser analisada em conjunto com seus efeitos sobre a qualidade pós-colheita dos frutos. No caso da canela, compostos como o cinamaldeído, embora altamente ativos contra microrganismos, podem

interagir com os tecidos vegetais, promovendo alterações fisiológicas e visuais. Além disso, a resposta diferenciada entre ensaios *in vitro* e *in vivo* reforça a influência de fatores ambientais e da complexidade do sistema hospedeiro-patógeno. Nesse contexto, torna-se fundamental o desenvolvimento de formulações que reduzam efeitos fitotóxicos e preservem as características comerciais dos frutos. Assim, o uso desses óleos deve ser cuidadosamente ajustado, considerando não apenas sua eficiência no controle de patógenos, mas também sua compatibilidade com a qualidade final do produto.



Figura 18. Anis (*Pimpinella anisum*) e canela (*Cinnamomum zeylanicum*). Fonte: elaborada por Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (Chat GPT).

A Figura 18 ilustra espécies vegetais amplamente reconhecidas pelo potencial bioativo de seus óleos essenciais, reforçando sua relevância em estudos voltados ao controle alternativo de fitopatógenos. No entanto, como discutido, a aplicação prática desses compostos exige uma análise criteriosa que vá além da eficácia antifúngica, incorporando aspectos relacionados à fitotoxicidade e à qualidade pós-colheita.

Nesse sentido, a utilização desses óleos em sistemas produtivos demanda ajustes técnicos, como a padronização de concentrações, o desenvolvimento de formulações mais estáveis e o uso de tecnologias que controlem a liberação dos compostos ativos. Além disso, a integração com outras estratégias de manejo, como o controle biológico e práticas culturais, pode potencializar seus efeitos e

reduzir impactos indesejáveis. Assim, a adoção desses insumos naturais deve ser orientada por uma abordagem sistêmica, alinhada aos princípios da sustentabilidade e à manutenção da qualidade dos produtos agrícolas.

3.11. Chá-de-moça (*Pectis brevipedunculata*)

O óleo essencial dessa espécie apresenta o citral como componente majoritário (aproximadamente 76%). Em ensaios *in vitro*, o óleo de *P. brevipedunculata* promoveu redução do crescimento micelial de *Colletotrichum gloeosporioides* de forma dose-dependente, com maior sensibilidade do fungo observada na concentração de 4 $\mu\text{L mL}^{-1}$.

No controle da antracnose em mudas de manga, o óleo de chá-de-moça reduziu a severidade da doença na cultivar Tommy Atkins, na concentração de 4 $\mu\text{L mL}^{-1}$. Entretanto, observou-se aumento da severidade na cultivar Comum, evidenciando resposta diferencial entre genótipos. Em frutos de manga, o óleo essencial de *P. brevipedunculata*, na concentração de 3 $\mu\text{L mL}^{-1}$, reduziu significativamente a severidade da doença (a partir de 54,83%) e a profundidade das lesões na polpa em todas as cultivares avaliadas (Corrêa *et al.*, 2023) (Figura 19).



Figura 19. Chá-de-moça (*Pectis brevipedunculata*). Fonte: elaborada por Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (Chat GPT).

A Figura 19 evidencia a espécie *Pectis brevipedunculata*, destacando seu potencial como fonte de compostos bioativos com aplicação no manejo de doenças pós-colheita. Os resultados apresentados reforçam que a eficácia do óleo essencial está diretamente relacionada não apenas à concentração utilizada, mas também à interação com o genótipo da planta hospedeira, o que pode influenciar significativamente a resposta ao tratamento.

Essa variabilidade ressalta a importância de abordagens específicas por cultivar, sobretudo em culturas comerciais como a manga. Além disso, o elevado teor de citral sugere forte atividade antifúngica, embora sua ação possa ser modulada por fatores fisiológicos do fruto e condições ambientais. Nesse contexto, o uso desse óleo essencial mostra-se promissor, especialmente quando associado a estratégias integradas de manejo, visando maior eficiência no controle da antracnose e manutenção da qualidade dos frutos.

3.12. Melosa (*Dizygostemon riparius*)

Os principais componentes do óleo essencial de *D. riparius* (popularmente, alecrim-do-brejo), são o fenchil e o acetato de fenchol (Figura 20).



Figura 20. Melosa (*Dizygostemon riparius*). Fonte: elaborada por Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (Chat GPT).

Até o momento, há poucos relatos na literatura sobre a utilização desse óleo no controle de fitopatógenos, o que confere caráter inovador aos estudos disponíveis. Em ensaios *in vitro*, o óleo demonstrou inibição do crescimento micelial de *Colletotrichum gloeosporioides* de forma dose-dependente.

Em mudas de manga, na concentração de 4 $\mu\text{L mL}^{-1}$, o óleo de *D. riparius* reduziu a severidade da antracnose na cultivar Tommy Atkins; contudo, de forma semelhante ao observado para o óleo de chá-de-moça, houve aumento da severidade na cultivar Comum, indicando resposta dependente do genótipo. Além disso, foi registrada elevada fitotoxicidade, caracterizada principalmente por queda acentuada de folhas, possivelmente associada à baixa polaridade e ao caráter hidrofóbico do óleo.

Apesar desses efeitos negativos em mudas, em frutos de manga, o óleo essencial de *D. riparius*, na concentração de 3 $\mu\text{L mL}^{-1}$, apresentou resultados promissores, com redução significativa da severidade da doença e da profundidade das lesões na polpa, especialmente na cultivar Tommy Atkins (Corrêa *et al.*, 2023).

3.13. Espécies promissoras no controle da antracnose

Além das espécies citadas, há outras bastante relevantes na literatura que merecem destaque, especialmente por apresentarem resultados consistentes contra fungos do gênero *Colletotrichum* e por já terem sido mais exploradas em diferentes contextos experimentais:

✓ Tomilho (*Thymus vulgaris*)

O óleo essencial de tomilho é rico em timol e carvacrol, compostos com forte atividade antifúngica. Estudos demonstram elevada eficiência na inibição do crescimento micelial de espécies do gênero *Colletotrichum*, tanto *in vitro* quanto *in vivo*, sendo frequentemente comparável a fungicidas sintéticos. Além disso, apresenta menor incidência de fitotoxicidade quando aplicado em concentrações adequadas (Burt, 2004; Bakkali *et al.*, 2008; Hyldgaard; Mygind; Meyer, 2012).

✓ **Orégano (*Origanum vulgare*)**

Semelhante ao tomilho, o óleo de orégano possui carvacrol como principal componente ativo. Trata-se de um dos óleos mais estudados quanto à atividade antifúngica, apresentando elevada eficácia contra patógenos de pós-colheita. Sua ação está relacionada à desestabilização da membrana celular dos fungos, levando à rápida inativação celular (Pattnaik *et al.*, 1996; Burt, 2004; Hyldgaard; Mygind; Meyer, 2012).

✓ **Capim-citronela (*Cymbopogon nardus*)**

Rico em citronelal, geraniol e citronelol, o óleo essencial de citronela apresenta atividade antifúngica significativa. Estudos indicam sua eficiência no controle de patógenos em frutas tropicais, incluindo fungos de importância pós-colheita. No entanto, assim como outros óleos do gênero *Cymbopogon*, sua elevada volatilidade pode limitar a persistência do efeito em condições práticas (Nguefack *et al.*, 2004; Bakkali *et al.*, 2008).

✓ **Manjerição (*Ocimum basilicum*)**

O óleo essencial de manjerição contém compostos como linalol e eugenol, responsáveis por sua atividade antifúngica. Resultados experimentais indicam potencial no controle de fungos fitopatogênicos, com destaque para sua ação sobre o crescimento micelial e a germinação de esporos. Sua eficácia é semelhante à observada em outras espécies do gênero *Ocimum*, como *O. gratissimum* (Singh *et al.*, 2005; Bakkali *et al.*, 2008).

✓ **Canela-cássia (*Cinnamomum cassia*)**

Diferentemente de *C. zeylanicum*, o óleo essencial de *C. cassia* apresenta maior concentração de cinamaldeído, composto associado à intensa atividade antifúngica. Estudos apontam resultados promissores no controle de patógenos pós-colheita, com ação sobre a integridade celular e processos metabólicos dos fungos. Contudo, sua aplicação pode ser limitada por efeitos fitotóxicos, dependendo da concentração utilizada (Burt, 2004; Bakkali *et al.*, 2008; Hyldgaard; Mygind; Meyer, 2012).

De forma geral, espécies vegetais ricas em compostos fenólicos, como timol, carvacrol e eugenol, tendem a apresentar elevada atividade antifúngica,

atuando muitas vezes de forma complementar para desestabilizar as estruturas de resistência dos patógenos (Figura 21).

Esses metabólitos secundários possuem alta capacidade de interação com lipídios e proteínas da membrana celular, promovendo aumento da permeabilidade, extravasamento de constituintes intracelulares e, conseqüentemente, a morte celular. Além disso, sua ação pode envolver a inibição de enzimas essenciais ao metabolismo fúngico e a interferência na síntese de componentes estruturais da parede celular. A atuação sinérgica entre esses compostos potencializa o efeito antifúngico, tornando-os particularmente eficazes mesmo em concentrações relativamente baixas. Outro aspecto relevante é a menor probabilidade de desenvolvimento de resistência por parte dos patógenos, em função da multiplicidade de alvos bioquímicos envolvidos. Nesse sentido, tais características reforçam o interesse científico e tecnológico no uso desses compostos como base para o desenvolvimento de bioinsumos no manejo fitossanitário sustentável (Bakkali et al., 2008; Hyldgaard; Mygind; Meyer, 2012).



Figura 21. Mecanismo de ação do escudo sinérgico na destruição da parede celular fúngica. Fonte: elaborada por Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (NotebookLM).

Nesse contexto, a inserção dos óleos essenciais na bioeconomia exige a superação de gargalos tecnológicos relacionados à volatilidade e à oxidação

prematura dos constituintes químicos. A nanobiotecnologia surge como uma ferramenta estratégica, permitindo o encapsulamento desses compostos em matrizes poliméricas ou lipídicas, o que possibilita a liberação controlada e reduz os riscos de fitotoxicidade às culturas tratadas (Dubey *et al.*, 2010). Tais inovações são fundamentais para que bioprodutos deixem de ser apenas alternativas laboratoriais e se tornem insumos competitivos no mercado de defensivos agrícolas sustentáveis, alinhando-se aos princípios de uma economia circular e regenerativa (Figura 22).

Somado aos desafios técnicos, o desenvolvimento de uma cadeia produtiva robusta para os OEs enfrenta obstáculos econômicos, como a variabilidade na composição química das plantas sob diferentes condições edafoclimáticas. Essa oscilação compromete a padronização necessária para o registro e a comercialização em larga escala (Raji *et al.*, 2017).



Figura 22. Escalonamento da aplicação de óleos essenciais: o papel da nanotecnologia na superação de barreiras biológicas e físico-químicas. Fonte: elaborada por Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (NotebookLM).

Para que a bioeconomia de óleos essenciais se consolide, é fundamental integrar o melhoramento genético de espécies aromáticas com processos de extração otimizados, garantindo um fornecimento estável de matérias-primas que atendam às rigorosas exigências de eficácia e segurança do setor agroindustrial contemporâneo (Figura 23).

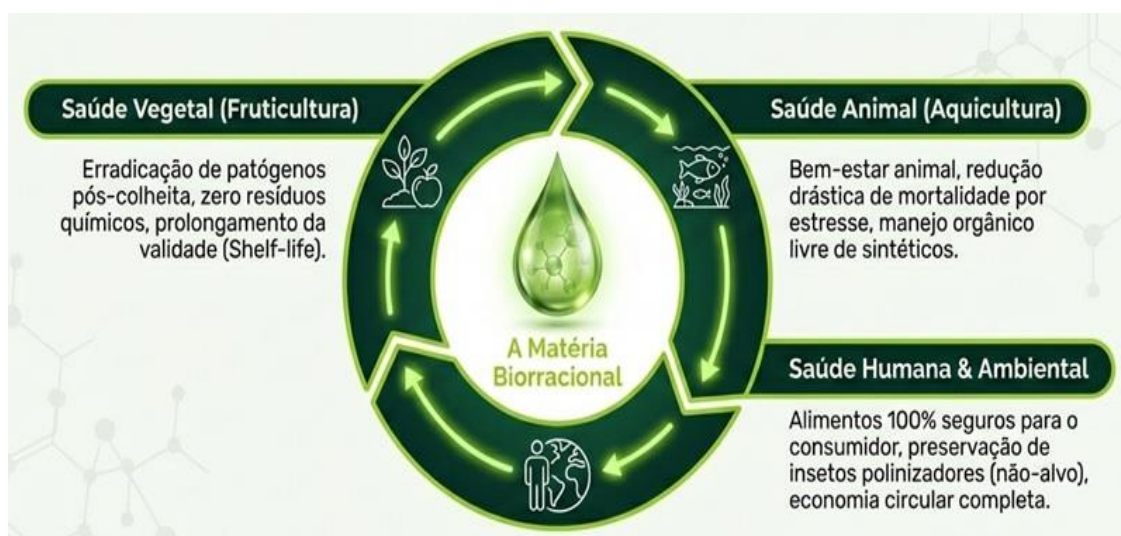


Figura 23. O ciclo contínuo da bioeconomia. Fonte: Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (NotebookLM).

Essa integração sistêmica permite que o valor agregado aos óleos essenciais transcenda a simples atividade biológica, posicionando-os como ativos estratégicos no fortalecimento de cadeias produtivas locais e resilientes. Ao alinhar a padronização genética com tecnologias de processamento de baixo impacto ambiental, o setor consegue mitigar a pressão sobre os ecossistemas naturais, transformando a biodiversidade em um motor de desenvolvimento tecnológico sustentável. Assim, a consolidação desse ciclo não apenas atende à demanda por insumos verdes, mas estabelece um novo paradigma onde a eficiência produtiva caminha paralelamente com a regeneração dos serviços ecossistêmicos e a segurança jurídica necessária para investimentos de longo prazo na agroindústria (OECD, 2009; EMBRAPA, 2018).

4. Considerações

A utilização de óleos essenciais no controle da antracnose revela um cenário promissor, mas também complexo, no qual a eficácia está diretamente condicionada a múltiplos fatores interdependentes. Elementos como concentração, composição química, quimiotipo¹¹ da planta, condições

¹¹ O quimiotipo (QT) de uma planta é uma variação química dentro da mesma espécie botânica, onde plantas morfologicamente idênticas produzem componentes químicos majoritários diferentes em seus óleos essenciais, influenciados pelo solo, clima e altitude.

edafoclimáticas, método de extração, volatilidade dos compostos e forma de aplicação influenciam significativamente os resultados obtidos. Além disso, a variabilidade entre hospedeiros e patógenos, bem como as diferenças entre condições *in vitro* e *in vivo*, reforçam a necessidade de abordagens mais integradas e específicas para cada sistema produtivo.

Outro aspecto relevante diz respeito à fisiologia do fruto. O estágio de maturação exerce papel determinante na suscetibilidade à infecção, sendo frutos mais maduros geralmente mais vulneráveis ao desenvolvimento de patógenos, em função de alterações bioquímicas que favorecem o crescimento fúngico. Soma-se a isso o comportamento latente de muitos patógenos, que se estabelecem ainda no campo e se manifestam apenas na pós-colheita, o que limita a eficácia de tratamentos aplicados exclusivamente após a colheita.

A fitotoxicidade observada em alguns óleos essenciais evidencia um dos principais entraves para sua aplicação prática. Danos à casca dos frutos, alterações sensoriais e efeitos negativos em mudas indicam que a definição de doses seguras e eficientes ainda é um desafio. Nesse sentido, estratégias como microencapsulação, uso de emulsões estáveis, combinação com revestimentos comestíveis e aplicação em sistemas integrados podem contribuir para aumentar a estabilidade dos compostos e reduzir efeitos indesejáveis.

Além dos aspectos técnicos, destaca-se a importância de considerar a viabilidade econômica e operacional dessas alternativas. A padronização da composição química dos óleos, a escalabilidade da produção, o custo de extração e a regulamentação para uso comercial são fatores que precisam ser superados para que essas tecnologias possam ser adotadas em larga escala. A integração com outras práticas de manejo, como controle biológico, boas práticas de colheita e armazenamento, tende a potencializar os resultados e aumentar a segurança do sistema produtivo.

Sob a perspectiva da agroecologia, o uso de óleos essenciais representa uma estratégia alinhada à construção de sistemas agrícolas mais sustentáveis, resilientes e menos dependentes de insumos externos. Essa abordagem contribui para a redução da contaminação ambiental, preservação da biodiversidade e promoção de serviços ecossistêmicos, além de favorecer a saúde dos trabalhadores rurais e dos consumidores.

Ao valorizar recursos naturais renováveis e conhecimentos tradicionais, essa prática também dialoga com os princípios da bioeconomia, fortalecendo cadeias produtivas locais e agregando valor aos produtos agrícolas. Ademais, a utilização desses compostos pode estimular práticas produtivas mais diversificadas, integrando cultivos aromáticos e medicinais aos sistemas agrícolas, o que amplia a multifuncionalidade das propriedades rurais. Esse enfoque também favorece a autonomia dos agricultores, especialmente da agricultura familiar, ao reduzir a dependência de insumos industriais e incentivar o aproveitamento de recursos disponíveis localmente.

É fundamental ampliar os estudos que envolvam condições reais de campo e pós-colheita, explorando diferentes combinações de óleos, tecnologias de aplicação e interações com outros métodos de controle. O avanço nesse campo depende de uma abordagem interdisciplinar que integre conhecimentos da fitopatologia, química de produtos naturais, tecnologia de alimentos e ciências ambientais. Além disso, aspectos relacionados à padronização de formulações, regulamentação e viabilidade econômica precisam ser considerados para viabilizar sua adoção em escala comercial.

A avaliação dos impactos em longo prazo sobre os agroecossistemas e a saúde humana também se mostra necessária, garantindo segurança e eficácia no uso contínuo desses insumos. Dessa forma, será possível consolidar o uso de óleos essenciais como uma alternativa viável, segura e ambientalmente responsável no manejo da antracnose, contribuindo para a produção de alimentos de qualidade e para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

5. Referências

ALTIERI, M. A. **Agroecologia**: bases científicas para uma agricultura sustentável. 3. ed. São Paulo: Expressão Popular, 2012.

AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (ed.). Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas. 5. ed. Ouro Fino: **Agrônômica Ceres**, 2016. v. 2.

ANDRADE, J. S.; VIEIRA, G. H. C. Doenças pós-colheita em mamão: etiologia e manejo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 38, n. 2, p. 1-10, 2016.

ANDRADE, W. P.; VIEIRA, G. H. C. Efeito dos óleos essenciais sobre a antracnose *in vitro* e em frutos de mamoeiro. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 18, n. 1, p. 367-372, 2016.

AQUINO, C. F. *et al.* Ação e caracterização química de óleos essenciais no manejo da antracnose do maracujá. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 4, p. 1059-1067, 2012.

ARAÚJO NETO, S. E. de *et al.* Controle pós-colheita da antracnose do maracujazeiro: amarelo com aplicação de óleo de copaíba. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 2, p. 509–514, abr. 2014.

ARAÚJO, L.; STADNIK, M. J.; BORSATO, L. C. Epidemiologia da antracnose em frutos tropicais. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 40, n. 3, p. 210–218, 2014.

BAILEY, J. A.; JEGER, M. J. **Colletotrichum: biology, pathology and control**. Wallingford: CAB International, 1992.

BAKKALI, F. *et al.* Antigenotoxic properties of some essential oils and of some of their main constituents. **Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, [s. l.], v. 649, n. 1-2, p. 82-93, 2008.

BAKKALI, F.; AVERBECK, S.; AVERBECK, D.; IDAOMAR, M. Biological effects of essential oils: a review. **Food and Chemical Toxicology**, Oxford, v. 46, n. 2, p. 446-475, 2008.

BURT, S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 94, n. 3, p. 223–253, 2004.

CANNON, P. F.; DAMM, U.; JOHNSTON, P. R.; WEIR, B. S. Colletotrichum – current status and future directions. **Studies in Mycology**, Utrecht, v. 73, p. 181–213, 2012.

CORRÊA, L. A. D. *et al.* Antifungal potential of essential oils from *Pectis brevipedunculata* and *Dizygostemon riparius* in anthracnose control in mango. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 45, p. e–889, 2023.

CRUZ, M. E. S. *et al.* Plant extracts for controlling the post-harvest anthracnose of banana fruit. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 15, n. 4, p. 727–733, 2013.

CRUZ, M. F. A.; BARBOSA, J. C.; SANTOS, A. F. Antracnose da banana na pós-colheita. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 38, n. 4, p. 321–327, 2013.

DEAN, R.; VAN KAN, J. A. L.; PRETORIUS, Z. A. *et al.* The top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. **Molecular Plant Pathology**, Oxford, v. 13, n. 4, p. 414-430, 2012.

DHIFI, W. *et al.* Essential oils' chemical characterization and investigation of some biological activities: a critical review. **Medicines**, [s. l.], v. 3, n. 4, p. 25, 2016.

DUBEY, N. K. *et al.* Prospects of botanical pesticides in sustainable agriculture. **Current Science**, [s. l.], v. 98, n. 4, p. 479-480, 2010.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Bioeconomia: oportunidades e desafios para o Brasil**. Brasília: Embrapa, 2018.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecology: the ecology of sustainable food systems**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2015.

HYLDGAARD, M.; MYGIND, T.; MEYER, R. L. Essential oils in food preservation: mode of action, synergies, and interactions with food matrix components. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 3, p. 1–24, 2012.

NGUEFACK, J.; LETH, V.; AMVAM ZOLLO, P. H.; MATHUR, S. B. Evaluation of five essential oils from aromatic plants of Cameroon for controlling food spoilage and mycotoxin producing fungi. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 94, n. 3, p. 329–334, 2004.

OECD. Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. **The Bioeconomy to 2030: designing a policy agenda**. Paris: OECD Publishing, 2009.

OLIVEIRA, E. S. de; VIANA, F. M. P.; MARTINS, M. V. V. Alternativas a fungicidas sintéticos no controle da antracnose da banana. **Summa Phytopathologica**, v. 42, n. 4, p. 340-350, 2016.

PATTNAIK, S.; SUBRAMANYAM, V. R.; KOLE, C. Antibacterial and antifungal activity of ten essential oils in vitro. **Microbios**, Cambridge, v. 86, n. 349, p. 237–246, 1996.

RAJI, R. O. *et al.* Bioeconomy of essential oils: a review. **Journal of Essential Oil Research**, [s. l.], v. 29, n. 4, p. 311-322, 2017.

RAVEAU, R. *et al.* Essential oils as potential alternatives to synthetic fungicides, with a focus on Plant-Pathogen-Environment interactions in Terrestrial Ecosystems. **Plants**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 300, 2020.

SINGH, G.; MAURYA, S.; DE LAMPASONA, M. P.; CATALAN, C. Chemical constituents, antifungal and antioxidative potential of *Ocimum basilicum* essential oil and its acetone extract. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 53, n. 20, p. 7772–7777, 2005.

SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em gestão ambiental**. Vol. IV. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2025. 346 p. ISBN: 978-65-84548-36-7. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-36-7>.

TAVASSOLI, S.; DJOMEH, Z. E. Total phenols, antioxidant potential and antimicrobial activity of methanol extract of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). **Global Veterinaria**, v. 7, n. 4, p. 337–341, 2011.

WEIR, B. S.; JOHNSTON, P. R.; DAMM, U. The *Colletotrichum gloeosporioides* species complex. **Studies in Mycology**, Utrecht, v. 73, p. 115-180, 2012.